



*République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*



*Université Mohammed Seddik Ben Yahia- Jijel*

*Faculté des Sciences et de la Technologie*

*Département de Génie des Procédés*

*Filière de Sciences et Génie de L'Environnement*

## ***Mémoire de fin d'études***

*Pour l'obtention du diplôme Master en Sciences et Génie des Procédés*

*Spécialité : Génie de procédés de l'environnement*

***Thème :***

---

***Optimisation des dosages des réactifs influençant les traitements des eaux destinées aux unités de production de l'acier de l'AQS.***

---

*Réalisé par :*

- *KHODJA Souaad*
- *BRAHIMI Imane*

*Soutenue à Jijel, le 18/07/2021 devant le jury composé de :*

*Encadreur : Dr. Z. SFAKSI*

*Co-encadreur : N. MAGHRICHE*

*Présidente : Dr. N. CHABOU*

*Examineur : Mr. Y. MEZZREG*

# Remerciements

*Avant tout, nous remercions Allah de nous avoir donné la force, la santé et la volonté nécessaire pour pouvoir accomplir ce travail.*

*Nous tenons aussi remercier tous les membres du jury qui ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à nos encadreurs, Madame Z. SFAKSI maitre de conférences à l'université de Jijel et Monsieur N. MAGHRICHE ingénieur de production à l'AQS, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail ainsi que pour leurs orientations et leurs conseils tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions également l'ensemble des enseignants qui ont participés à notre formation.*

*Ce travail a été réalisé au complexe sidérurgique ballera (AQS), Nous remercions également les membres de l'AQS ainsi que ceux des entreprises KURITA et NALCO pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicace*

*Nous offrons ce travail en témoignage de l'amour, de l'amitié et de la reconnaissance que nous portons à :*

*Nos parents*

*Nos sœurs et Nos frères*

*Nos familles et amis*

*A tous ceux qui nous sont chers...*

*Souaad et Imane.*

## Table de matières

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

### **Partie I**

#### **Chapitre I**

##### **Généralité sur les eaux**

I.1. Introduction.....	2
I.2. Composition structure de la molécule d'eau .....	2
I.3. Différents états de l'eau .....	3
I.4. Cycle de l'eau .....	3
I.5. Propriétés de l'eau.....	4
I.6. Pollution et utilisation ultérieure de l'eau.....	10

#### **Chapitre II**

##### **Traitements des eaux**

II.1. Introduction .....	12
II.2. Prétraitements .....	12
II.3. Traitements physico-chimiques.....	12
II.3.1. Coagulation-floculation.....	12
II.3.2. Floculation.....	15
II.3.3. Décantation .....	17
II.3.4. Filtration .....	18
II.3.5. Flottation .....	19
II.3.6. Modifications des caractéristiques calco-carboniques.....	20
II.3.7. Désinfection .....	22
II.3.8. Adsorption.....	24
II.3.9. Echangeurs d'ions .....	27
II.3.10. Elimination du fer et du manganèse .....	29
II.3.11. Stabilisation de l'eau.....	29

## **Partie II**

### **Chapitre I**

#### **Présentation du complexe**

I.1. Présentation de la zone d'étude.....	30
I.1.1. Introduction.....	30
I.1.2. Définition de l'entreprise .....	31
I.1.3. Défis et enjeux .....	31
I.1.4. Structures du complexe.....	31
I.1.5. Situation géographique du complexe.....	32
I.1.6. Organigramme de l'entreprise .....	33
I.1.7. Unités de complexe.....	34
I.1.7.1 Unités principales.....	34
I.1.7.2. Installations complémentaires.....	36
I.8. Production de complexe.....	40
I.2. Présentation de station de traitement des eaux (WTPg) .....	41
I.2.1. Objectif .....	41
I.2.2. Usine de traitement des eaux d'appoint et des eaux potable .....	41

### **Chapitre II**

#### **Matériels et Méthodes**

II.1. Introduction .....	45
II.2. Produits et matériels .....	45
II.3. Préparation des solutions .....	46
II.3.1. Préparation automatique (au niveau de station WTPg) .....	46
II.3.2. Préparation manuel (au niveau du laboratoire de la WTP) .....	46
II.4. Méthodes analytique .....	51
II.4.1. Détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau brute (Raw water) .....	51
II.5. Essais de Jar-test .....	53
II.5.1. Essai d'oxydation de fer et manganèse Jar-test .....	53
II.5.2. Essai de coagulation-floculation Jar-test .....	54
II.5.3. Essai de la décarbonatation par la chaux Jar-test .....	54
II.5.4. Essai de coagulation-décarbonatation Jar-test .....	54
II.5.5. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation Jar-test .....	54
II.5.6. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation-recirculation de boue Jar-test ....	55



II.5.7. Essai du processus de station de WTPg Jar-test ..... 55  
II.6. Caractéristiques des eaux brutes de la station WTPg ..... 55

### Chapitre III

#### Résultats et discussions

III.1. Introduction ..... 57  
III.2. Résultats et discussion..... 57  
    III.2.1. Essai d'oxydation de fer Jar-test ..... 57  
    III.2.2. Essai de coagulation-floculation Jar-test ..... 58  
    III.2.3. Essai de la décarbonatation par la chaux Jar-test ..... 59  
    III.2.4. Essai de coagulation-décarbonatation Jar-test ..... 63  
    III.2.5. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation Jar-test ..... 66  
    III.2.6. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation-recirculation de boue Jar-test .. 68  
    III.2.7. Essai du procédé de station de WTPg Jar-test..... 71  
Conclusion générale ..... 72

# Listes des figures

## Partie I

### Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : Composition et structure de la molécule d'eau.....	3
<b>Figure I.2</b> : Cycle de l'eau.....	4

### Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Evolution du potentiel électronégatif en fonction de l'éloignement de la particule dans le cas de l'eau. ....	13
<b>Figure II.2</b> : Adsorption sur une particule de charbon actif.....	25

## Partie II

### Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : Structure du complexe.....	32
<b>Figure I.2</b> : Unité de production de l'acier (DIR). ....	34
<b>Figure I.3</b> : Le four électrique (IAF) (SMS). ....	35
<b>Figure I.4</b> : Les billets (Laminaire). ....	36
<b>Figure I.5</b> : Unité de séparation d'air (ASU). ....	37
<b>Figure I.6</b> : Unité traitement de chaux (Lime plant) (LMP). ....	37
<b>Figure I.7</b> : Station de récupération et de transport des matières premières. ....	38
<b>Figure I.8</b> : Station général de traitement des eaux (WTPg).....	39
<b>Figure I.9</b> : Sous-station électrique (MRSS).....	39
<b>Figure I.10</b> : Rond à béton. ....	40
<b>Figure I.11</b> : Fil machine.....	41
<b>Figure I.12</b> : Présente de la ligne de procédés de production d'eau d'appoint et d'eau potable. ....	42

### Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Dosage du TH.....	47
<b>Figure II.2</b> : Dosage du T <sub>Ca</sub> .....	48
<b>Figure II.3</b> : Dosage du TAC. ....	49
<b>Figure II.4</b> : Dosage de chlorure. ....	50
<b>Figure II.5</b> : pH mètre. ....	51
<b>Figure II.6</b> : Conductimètre. ....	51

<b>Figure II.7</b> : Turbidimètre.....	52
<b>Figure II.8</b> : LOVIBOND de type (MD600). .....	52
<b>Figure II.9</b> : Essais de Jar-test.....	53

### **Chapitre III**

<b>Figure III.1</b> : Variation de fer en fonction de la dose du permanganate de potassium.....	57
<b>Figure III.2</b> : Variation de la turbidité, TAC, TH, pH en fonction de la dose du chlorure ferrique. ....	58
<b>Figure III.3</b> : Variation de pH en fonction de la dose de la chaux. ....	59
<b>Figure III.4</b> : Variation de TAC en fonction de la dose de la chaux. ....	60
<b>Figure III.5</b> : Variation de TH en fonction de la dose de la chaux. ....	61
<b>Figure III.6</b> : Variation de turbidité en fonction de la dose de la chaux. ....	62
<b>Figure III.7</b> : Variation de différents TAC en fonction de la dose de la chaux. ....	63
<b>Figure III.8</b> : Variation de différents TH en fonction de la dose de la chaux.....	64
<b>Figure III.9</b> : Variation de différents pH en fonction de la dose de la chaux. ....	65
<b>Figure III.10</b> : Variation de différents TAC en fonction de la dose de la chaux. ....	66
<b>Figure III.11</b> : Variation de différents TH en fonction de la dose de la chaux.....	67
<b>Figure III.12</b> : Variation de différents pH en fonction de la dose de la chaux. ....	68
<b>Figure III.13</b> : Variation de différents TAC en fonction de la dose de la chaux. ....	69
<b>Figure III.14</b> : Variation de différents TH en fonction de la dose de la chaux.....	70
<b>Figure III.15</b> : Variation TAC, TH en fonction de la dose de la chaux.....	71



## Liste des tableaux

### Partie II

#### Chapitre II

<b>Tableau II.1.</b> : Produits et les matériels utilisés dans ce travaille.....	45
<b>Tableau II.2.</b> : Caractéristiques physico-chimiques des produits.....	46
<b>Tableau II.3.</b> : Echantillon d'eau de la station de WTPg (prélèvement du 28-04-2021). .....	55



## Liste des abréviations

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit.

**MES** : Matières en suspension.

**MEST** : Matières en suspension total.

**T** : Température.

**pH** : Potentiel hydrogène.

**S** : Siemens.

**mS** : Milisiemens.

**µS/cm** : Micro siemens/Centimètre.

**°C** : Degré Celsius.

**H<sup>+</sup>** : Hydronium.

**°f** : Degré français.

**mg/l** : Milligramme par litre.

**TH** : Titre hydrométrique.

**O<sub>2</sub>** : L'oxygène.

**DBO** : Demande Biochimique en Oxygène.

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

**MO** : Matière organique.

**%** : Pourcent.

**XXe** : Vingtième siècle.

**WC**: Water clean.



**mV:** Millivolt.

**min:** Minute.

**mm:** Millimètre.

**m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>:** Mètre cube par heure par mètre carré.

**TA :** Titre alcalimétrique.

**TAC :** Titre alcalimétrique complet.

**TCa :** Titre hydrométrique calcique.

**TMg :** Titre hydrométrique magnétique.

**CO<sub>2</sub> :** Dioxyde de carbone.

**CAG :** Charbon actif en grain

**D :** La dose de la chaux.

**C :** La teneur en dioxyde de carbone libre.

**g/m<sup>3</sup> :** Gramme/mètre cube.

**GTCF:** Les Germes Témoins De Contamination Fécale.

**O<sub>3</sub>:** L'ozone.

**ADN:** Acide Déoxyribo Nucléique.

**g/m<sup>2</sup> :** Gramme par mètre carré.

**CAP :** Charbon actif en poudre.

**CAG :** Charbon actif en graine.

**m:** Mètre.

**pHs:** Potentiel d'hydrogène de saturation.

**AQS :** Algérien Qatari Steel.

**QSI :** Qatar Steel International.

**FNI :** Fonds National d'Investissement.

**DA:** Dinar Algeria.

**Km:** Kilometer.



**MW:** Megawatt.

**DRI:** Direct reducing iron.

**SMS:** Steel meelt shope.

**RB:** Rond à béton.

**EAF:** Electrical arc furnace.

**RM<sub>s</sub>:** Rolling Mill.

**ASU:** Air separation unit.

**LMP:** Lime plant.

**WTP:** Water treatment plant.

**MRSS:** Main receiving sub-station.

**KV :** Kilo volt.

**ISO :** Organisation international de normalisation.

**m<sup>3</sup>/h :** Mètre cube/heure.

**ppm :** partie par million.

---

# **Introduction Générale**

---

## **Introduction générale**

Les propriétés physiques et chimiques de l'eau en font un fluide d'usage universel dans les activités humaines. Selon les besoins elle est une matière première, un fluide caloporteur (chauffage et refroidissement), un liquide de lavage ou un solvant d'extraction. Ses applications industrielles sont conditionnées par son degré de pureté.

La région de Jijel, à l'est algérien s'est retrouvée dotée depuis 2013 du complexe sidérurgique de Bellara « Algerian Qatar Steel » AQS. Ce complexe est d'une importance capitale tant pour les habitants de la région que pour l'économie nationale.

Comme tout secteur industriel, le complexe a des besoins très importants en eaux nécessaires au process. Provenant du barrage de Boussiaba (prétraitées préalablement), les eaux qui alimentent l'AQS doivent passer par un certain nombre de traitements physico-chimiques au niveau de la station WTPg (Water Treatment Plant general).

Les traitements dans la WTPg sont des traitements classiques d'oxydation du fer, de coagulation, floculation, décarbonatation, désinfection, décantation, d'ajustement du pH et de filtration.

A la demande de l'AQS, une étude de l'optimisation de la décarbonatation et de la coagulation en utilisant les réactifs déjà utilisés dans le processus a été réalisée.

Ce manuscrit est divisé en cinq chapitres classés en deux grandes parties :

- ✚ La partie I est la partie de l'étude bibliographique subdivisée en deux chapitres :
  - ✓ Le premier chapitre est une description générale des eaux ;
  - ✓ Le deuxième parle des différents traitements des eaux.
- ✚ La partie II est la partie expérimentale subdivisée en trois chapitres :
  - ✓ Le chapitre I est dédié à la présentation du complexe ;
  - ✓ Le chapitre II décrit les méthodes et matériel ;
  - ✓ Le chapitre III est une exposition et discussion des résultats.

Le tout sera sanctionné d'une conclusion générale.

---

# **Partie I**

---

---

# **Chapitre I**

## **Généralité sur les eaux**

---



### I.1. Introduction

L'eau est l'une des ressources les plus abondantes sur la terre, mais il faut signaler également que seulement moins de 1% de cette ressource sont utilisables de façon fiable pour les besoins humains. L'eau se présente en majeure partie à l'état liquide mais elle est présente aussi à l'état solide et à l'état de vapeur. Donc l'eau douce disponible est une forme rare de l'eau, car 99 % de la masse totale de l'eau est soit salée (97% de l'eau est contenue dans les océans), soit à l'état solide (2% dans les calottes glaciaires et les glaciers). La majeure partie de l'eau restante (1%) est souterraine, une proportion infime étant présente dans les lacs, l'humidité du sol, les cours d'eau et les systèmes biologiques. Malgré cette rareté de l'eau, l'être humain n'a pas encore compris ni reconnu que les disponibilités en eau sont finies. Tout le monde est pourtant d'accord pour reconnaître que la rareté croissante de l'eau douce et le mauvais usage que l'on en fait menace gravement le développement durable.

La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et les villes pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau, aggravent d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays. A mesure que les populations s'accroissent et que les économies se développent, la concurrence pour des ressources finies ne pourra que s'intensifier, et les conflits entre usagers de l'eau ne feront que s'amplifier [1].

### I.2. Composition et structure de la molécule d'eau

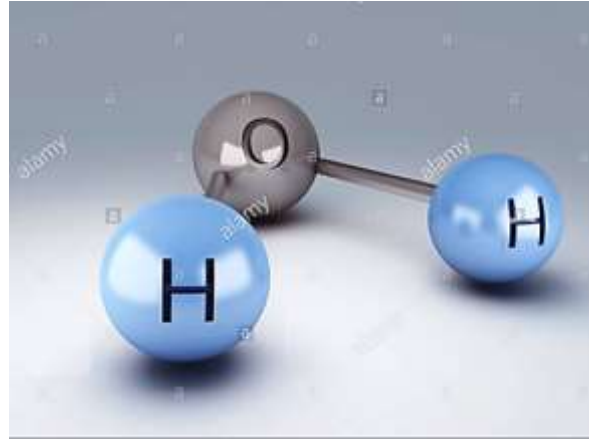
Bien que la formule  $H_2O$  soit relativement simple, il existe de très nombreuses combinaisons possibles des éléments hydrogène et oxygène qui comportent chacun plusieurs isotopes.

L'eau pure est donc un mélange de plusieurs molécules, chimiquement identiques, mais ayant des propriétés physiques distinctes. La molécule d'eau est constituée d'un édifice électronique stable, qualitativement semblable au néon, qui cependant ne réalise pas un équilibre électrique parfait.

En effet, à cause de l'électronégativité marquée de l'oxygène, et de sa tendance à accaparer les deux électrons d'hydrogène, il s'ensuit une déformation de la structure à l'origine des caractéristiques géométriques essentielles de la molécule d'eau, qui est dissymétrique propriétés physiques distinctes.



Du point de vue électrique, cela se traduit par un caractère polaire de la molécule d'eau qui permet d'expliquer les extraordinaires, pour ne pas dire aberrantes, propriétés de l'eau, qui font qu'elle n'a pas les caractéristiques d'un liquide parfait.



*Figure I.1 : structure de la molécule d'eau [2].*

### I.3. Différents états de l'eau

Comme pour la plupart des corps, l'eau peut se présenter sous trois états ou phases : **solide** (glace), **liquide** (eau proprement dite), et **gazeux** (vapeur d'eau).

Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau-glace, glace-vapeur, eau-vapeur, selon les conditions de température et de pression. Il existe cependant un point, dit **point triple** pour lequel les trois phases sont rigoureusement en équilibre, à la température de  $0,01^{\circ}\text{C}$  et sous une pression de 4,6 mmHg (613 Pa) [3].

### I.4. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est avant tout favorisé par le rayonnement solaire. De manière qualitative, on peut le décrire comme suit : L'eau s'évapore dans l'atmosphère à partir des eaux de surface (par exemple les lacs), mais aussi à partir du sol et des plantes, elle est alors transportée sous forme de nuages. Elle retourne ensuite vers la terre à partir des nuages sous forme de précipitation, soit elle atteint la surface des lacs ou des mers, soit elle atteint la nappe phréatique à travers le sol [4].





Figure I.2 : Cycle de l'eau [5].

## I.5. Propriétés de l'eau

### I.5.1. Propriétés physiques

#### I.5.1.1. Turbidité (Transparence)

C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur...

On mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

- $NTU < 5 \Rightarrow$  eau claire.
- $NTU < 30 \Rightarrow$  eau légèrement trouble.
- $NTU > 50 \Rightarrow$  Eau trouble.

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse) [6].



### I.5.1. 2. Matières en suspension (MES)

On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes...) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) et s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique.

En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux.

La quantité de matières en suspension totale (MEST) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesée des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/L [6].

### I.5.1. 3. Température

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres.

C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissout (dioxygène) indispensable à la vie aquatique en premier lieu à la respiration des poissons. En effet plus la température de l'eau s'élève, plus sa quantité maximum d'oxygène dissout diminue. Une température trop élevée des eaux d'une rivière peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissout pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'autoépuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds (odeurs) ainsi que la croissance accélérée des végétaux (dont les algues).

Les poissons ne peuvent survivre à des températures trop élevées. (Mortalité totale : truites de rivières à 27°C, truites arc en ciel à 29°C, brochets à 28°C, perches et tanches à 30°C, gardons à 31°C, carpes à 38°C).

La température de l'eau dans l'environnement se mesure en général avec un appareil multi paramètres (T, pH, conductivité) dont il suffit de plonger l'extrémité [6].

### I.5.1. 4. Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissouts dans l'eau.



Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau à 25°C :

1 Siemens (S) = 1000 milisiemens (mS) = 1000000 micro siemens (µS) [7].

Échelle indicative de conductivités naturelles de différentes eaux :

- 60 à 100 µS/cm : Eau de pluie.
- 50 à 300 µS/cm : Eaux peu minéralisées (sols schisteux, volcaniques, granitiques).
- 550 µS/cm environ : Eau du robinet à Besançon (région calcaire).
- 300 à 700 µS/cm Eaux minéralisées (sols calcaires, marneux).
- 700 à 1200 µS/cm Eaux fortement minéralisées (sols gypseux, eaux salées) [6].

### I.5. 2. Propriétés chimiques

#### I.5.2. 1. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau [7].

L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7.

Le pH doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique.

Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant :

- >7 en régions calcaires où les eaux sont basiques car fortement minéralisées.
- < 7 en région de sous-sol primaire (Vosges, ...) ou les eaux sont acides [6].

#### I.5.2. 2. Dureté

Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium. La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique qui s'exprime en degrés français (symbole °f) sur une échelle de 0 à 40.



(1°f = 4mg/L de calcium ou 2,4mg/L de magnésium).

- Une eau sera dite dure si son TH est > à 15 °f.

Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartre les canalisations et un usage plus important de détergents pour le lavage.

- Une eau sera dite douce si son TH est < à 15 °f.

Une eau trop douce sera dite « agressive » parce que corrosive pour les conduites [6].

### I.5.2. 3. Oxygène dissout

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O<sub>2</sub> diminue lorsque la température et l'altitude augmente.

La concentration en oxygène dissout est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse [7].

### I.5.2. 4. DBO, DCO et oxydabilité

La DBO (Demande Biochimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours (on peut donc avoir une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air : on parle alors de DBO<sub>5</sub>.

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium.

Cette méthode donne donc une image plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont par exemple pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO. La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO ("oxydation forcée"), et donne une image de la matière



organique présente même si le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple). Le résultat s'exprime en mg/L d'O<sub>2</sub>.

Généralement, la DCO = 2 à 1.5 x DBO<sub>5</sub>. La relation empirique suivante lie la DBO<sub>5</sub>, la DCO et la matière organique de l'échantillon (MO) [7] :

$$MO = (2DBO_5 + DCO) / 3$$

#### **I.5.2.5. Chlorures (sels)**

Ils ne sont pas nocifs, mais constituent un important indicateur d'arrivée de pollution. Ils ne sont pas éliminés par les stations d'épuration.

Dans la nature ils sont souvent indicateurs d'arrivée d'effluents urbains. A titre indicatif, dans l'eau du robinet le maximum admis est de 250 mg/L de chlorures.

La concentration naturelle de l'eau en chlorure est fonction de la géologie des sols en générale inférieure à 50 mg/L [6].

#### **I.5.2.6. Sulfate**

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie [7].

#### **I.5.2.7. Sodium et potassium**

Le cation sodium (Na<sup>+</sup>) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) et le potassium (K<sup>+</sup>) est assez abondants sur terre, mais peut fréquent dans les eaux. Le potassium est dans les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles [7].

#### **I.5.2. 8. Ammonium (NH<sub>4</sub>) et ammoniac (NH<sub>3</sub>)**

L'azote ammoniacal est souvent le principal indicateur chimique de pollution directe d'une eau de rivière à l'aval d'un rejet polluant (plus encore en aval elle se transforme en nitrites puis en nitrates). C'est en détectant la présence d'ammonium que l'on peut situer le long d'un cours d'eau les arrivées d'eaux usées car les déjections humaines et animales sont sources d'ammoniac. Naturellement dans les eaux la présence d'ammoniac ne dépasse pas 0,1mg/L.



Dans l'eau, en fonction du pH et de la température, l'azote ammoniacal se rencontre sous deux formes AMMONIUM et AMMONIAQUE [6].

### I.5.2. 9. Nitrites (NO<sub>2</sub>)

Chez les mammifères, la consommation d'eau chargée de nitrites perturbe la fixation de l'oxygène par l'hémoglobine du sang. (D'où la méthémoglobinémie ou la « maladie bleue du nourrisson »). Il ne doit donc pas avoir de nitrites dans l'eau du robinet et très peu de nitrates, car ils peuvent une fois bus se transformer en nitrites. Dans l'estomac, les nitrites, peuvent se transformer en nitrosamines réputées cancérigènes [6].

### I.5.2. 10. Nitrates (NO<sub>3</sub>)

Les nitrates des eaux souterraines et des cours d'eau proviennent :

- Principalement d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés.
- En second lieu des rejets des stations d'épurations (transformation de la matière organique en nitrates). Certaines installations sont complétées par des traitements de dénitrification avant rejet.
- Du milieu naturel, pour 3 et 7 mg/L seulement, une quantité suffisante pour nourrir la vie aquatique des cours d'eau. (A delà c'est l'indigestion, le développement des algues, l'eutrophisation...).

Les nitrates posent problème en raison de leur trop grande introduction dans les eaux par l'agriculture industrielle. Les résultats d'analyse exprimés en mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> [6].

### I.5.2. Propriétés biologiques

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants.

Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges. L'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants. Pour l'homme, on cite les pourcentages suivants [8] :

- Nouveau-né ..... 66 à 74 %
- Adulte..... 58 à 67 %





L'eau compose la plus grande partie de nos aliments :

- Laitue ..... 92 %
- Pomme de terre ..... 78 %
- Poulet..... 72 %

## I.6. Pollution et utilisation ultérieure de l'eau

L'évolution spectaculaire que connaît l'environnement urbain et industriel pose dans de nombreux pays le problème de l'eau. C'est en réalité surtout dans la détérioration de la **qualité** de l'eau des ressources que réside le véritable problème rencontré. Les eaux de surface (cours d'eau, lacs, étangs...), encore relativement propres au début du siècle, sont de plus en plus exposés à la pollution et les nappes aquifères n'échappent pas, en outre, à cette contamination générale.

Qui dit pollution, pense irrémédiablement industrie et éventuellement agriculture. Le raccourci est un peu facile toutefois. Il est inexact surtout. Nous sommes tous des pollueurs... chacun à sa mesure certes. Les ressources en eau sont exposées en réalité à plusieurs types de pollution.

### I.6.1. L'industrie

C'est vrai, rejette bon nombre de substances qui vont polluer rivières et nappes, parfois même d'une manière d'autant plus pernicieuse que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration (comme par exemple, les métaux lourds, les composés cyanurés ou phénols, les pesticides et hydrocarbures divers...).

### I.6.2. L'agriculture

Utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures et à faciliter la vie des agriculteurs. Ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie, les eaux de surface par lessivage et ruissellement et les nappes par infiltration.



### I.6.3. La pollution domestique

Des eaux usées urbaines (mélange d'eaux vannes et d'eaux ménagères) est essentiellement constituée de matières organiques biodégradables certes, mais grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes (cause d'épidémies) et de produits chimiques (lessives détergentes riches en phosphates) à l'origine des phénomènes d'eutrophisation. Par les lavabos, les éviers, les salles de bains et les WC passe chaque jour une pollution proportionnelle au nombre d'habitants.

Il ne faut pas oublier par ailleurs, la **pollution générée par les eaux pluviales** en particulier en périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) puis en ruisselant sur les toits et les chaussées des villes, de produits divers (huiles de vidange, carburants, métaux lourds, etc.). En définitive, il faut considérer que si l'on veut éviter, sous l'effet des rejets polluants de dégrader gravement l'environnement, il est nécessaire de préserver le mieux possible notre patrimoine naturel, constitué par nos ressources en eau.

Le grand défi contemporain des sociétés modernes est celui de l'assainissement, il faut absolument éviter que l'eau après usage, l'eau dite « usée » contamine l'eau naturelle des nappes souterraines, des rivières et des lacs, la rendant ainsi impropre à la consommation et à l'utilisation industrielle [3].



---

## **Chapitre II**

# **Traitements des eaux**

---

## II.1. Introduction

Les eaux brutes destinées à la consommation, qu'elles soient d'origine superficielle ou profonde, sont souvent trop chargées en particules ou en polluant divers. Avant leur utilisation et leur distribution aux consommateurs, elles doivent impérativement faire l'objet de plusieurs procédés de traitement et de désinfection.

La pollution d'une source d'alimentation en eau avoir au moins quatre origines :

Un rejet d'eaux usées d'origine animale ou humaine, les effluents industriels, les eaux de ruissèlement, ou une contamination accidentelle.

Les procédés de traitement et de stérilisation varient selon le type de ressource hydraulique disponible et en fonction des moyens et du niveau technologique [1].

## II.2. Prétraitements

Les prétraitements sont destinés à séparer des eaux résiduaires :

- Les matières solides volumineuses risquant d'obstruer les canalisations de l'installation de traitement ;
- Les matières flottantes et les polluants liquides (huiles, hydrocarbures) non miscibles à l'eau et généralement moins denses qu'elle.

Ils sont constitués d'un ensemble d'opérations physiques et mécaniques : dégrillage, tamisage, dessablage, déshuilage, dégraissage dont la mise en œuvre est largement dépendante de la nature et des caractéristiques des rejets industriels à traiter et aussi de la ligne de traitement prévue en aval [6].

## II.3. Traitements physico-chimiques

### II.3.1. Coagulation-floculation

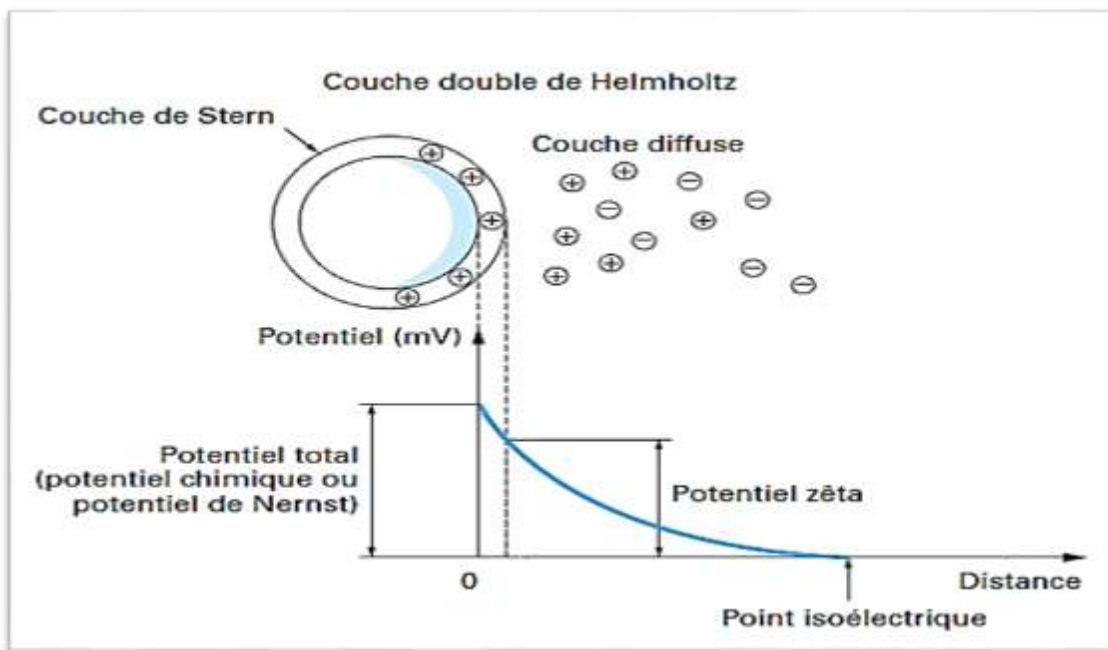
Le principe de la technique de la coagulation-floculation est basé sur la déstabilisation des particules en suspension par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques afin de favoriser leur agglomération et de permettre leur décantation. Les particules en suspension les plus difficiles à éliminer dans les eaux à traiter sont celles qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes (matières organiques causant la coloration). Ces colloïdes portent habituellement une charge électrique négative qui



empêche les particules de s'agglomérer les unes aux autres pour former des particules plus volumineuses (flocs) et faciliter leur élimination par sédimentation et filtration [7].

### ➤ Principes de base

La difficulté de séparation des colloïdes présents dans une eau par simple décantation ou filtration provient du fait que ces particules, qui sont d'origine minérale (argiles), végétale (acides humiques ou fulviques, algues), animale (zooplancton), humaine (suspensions graisseuses...) ou industrielle (eaux résiduaires diverses), se trouvent dans l'eau à l'état de particules chargées électriquement (toujours négativement dans les eaux naturelles). La répulsion mutuelle exercée par ces particules les empêche de s'agglutiner sous l'effet des forces d'attraction naturelle (appelées à cette échelle forces de Van der Waals) et d'acquies ainsi une dimension suffisante pour devenir décantables ou filtrables [9].



**Figure II.1 : Évolution du potentiel électronégatif en fonction de l'éloignement de la particule dans le cas de l'eau brute [9].**

Les charges positives de l'ion métallique neutralisant les charges négatives du colloïde, les particules peuvent alors se rassembler sous l'effet des forces attractives de Van der Waals et il se produit une précipitation simultanée et conjointe, sous forme d'un gel d'hydroxyde de fer ou d'aluminium, qui adsorbe le colloïde naturel coagulé. Ce gel amorphe se présente sous la forme de flocons que l'on va ensuite s'efforcer de faire grossir progressivement pour le

séparer efficacement de l'eau dans les phases ultérieures de décantation et de filtration. L'ensemble de ces flocons est appelé le floc. La coagulation est optimale pour une introduction de charges électriques positives correspondant à l'annulation du potentiel zêta, potentiel que l'on mesure en observant la vitesse de déplacement des particules colloïdales sous l'action d'un champ électrique dans un appareil d'électrophorèse dit zêta mètre. Pour la clarification de la plupart des eaux, on peut se contenter d'utiliser une dose de coagulant permettant d'obtenir un potentiel Zêta voisin de -5 mV ; par contre, lorsqu'une eau est riche en plancton ou en acides humiques, il est indispensable d'utiliser une dose de coagulant assurant l'annulation du potentiel zêta [9].

### ➤ **Les coagulants utilisés**

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales et pour produire un floc sont :

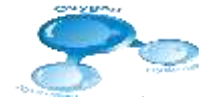
- Le sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ;
- L'aluminate de sodium  $\text{NaAlO}_2$  ;
- Le chlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3$  ;
- Le chlorure ferrique  $\text{FeCl}_3$  ;
- Le sulfate ferrique  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ;
- Le sulfate ferreux  $\text{FeSO}_4$  ;
- Le sulfate de cuivre  $\text{CuSO}_4$  ;
- La chaux  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ;
- Poly électrolytes [10].

### ➤ **Les facteurs influençant la coagulation**

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs paramètres comme le pH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, la turbidité et la couleur.

#### **1. Influence du pH**

Le pH est le paramètre le plus important à prendre en compte dans le procédé de la coagulation. Pour chaque eau, il y a un intervalle de pH pour lequel la coagulation a lieu rapidement qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de pH s'étendent de 4 à 6 et de 5



à 7 respectivement. Dans certains cas, il est plus avantageux d'augmenter la quantité du coagulant pour abaisser le pH.

## 2. Influence des sels dissouts

Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation.

- Modification de la plage de pH optimal.
- Modification de la quantité de coagulant requis.
- Modification de la quantité résiduelle de coagulant.

## 3. Influence de la température de l'eau

L'influence de la température n'est pas bien définie mais il a été observé que lorsque l'eau est froide, les floccs se décantent plus difficilement. Car, la diminution de la température entraîne une augmentation de la viscosité.

## 4. Influence du coagulant

Le choix du coagulant peut influencer les caractéristiques de la coagulation, même si les sels de fer et d'aluminium sont les coagulants les plus utilisés, il peut être plus avantageux de les remplacer par le sulfate ferrique. Ce dernier offre plusieurs intervalles de pH, de plus pour un même pH le sulfate ferrique est moins soluble que ces sels.

## 5. Influence du mélange

Au cours de la coagulation-floculation, on procède au mélange des produits chimiques en deux étapes. Premièrement, on effectue un mélange rapide qui a pour but principal de diffuser les produits dans la totalité du volume d'eau à traiter. Deuxièmement, le mélange se fait plus lentement et a pour objectif de favoriser le contact entre les floccs.

## 6. Influence de la turbidité

La turbidité de l'eau est causée par la présence de particules assez grosses pouvant se décanter naturellement, la coagulation de ces particules est donc assez facile à réaliser en maintenant le pH dans sa plage optimale [10].



### II.3.2. Flocculation

La flocculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant. Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître son volume, sa masse et sa cohésion [11].

Une bonne flocculation est favorisée par :

- Une coagulation préalable aussi parfaite que possible.
- Une augmentation de la quantité du floc dans l'eau.
- Un brassage homogène et lent pour tout le volume d'eau.

L'emploi de certains produits appelés flocculant ou adjuvants de coagulation On distingue trois (03) types de flocculation selon le type de mouvement qui anime les particules dans la suspension :

- **Flocculation rapide ou pré-cinétique (mouvement brownien) :** Les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien qui est fonction de la température de l'eau ;
- **Flocculation lente ou ortho-cinétique (brassage mécanique) :** C'est la flocculation provoquée par l'agitation de l'eau. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules ;
- **Flocculation par entraînement :** Elle se produit dans une solution qui décante quand les grosses particules, tombant plus vite, entraînant les plus petites avec eux [11].

#### ➤ Les flocculants utilisés

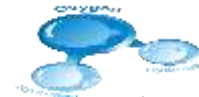
Les flocculants, appelés aussi adjuvants de flocculation, sont destinés à favoriser l'agglomération des particules, constituées en flocons après coagulation, afin qu'elles précipitent. On distingue les flocculants d'après leur nature (minérale ou organique), leur origine (naturelle ou synthétique) ou le signe de leur charge électrique (anionique ou cationique) [10].

#### ➤ Les principaux flocculants sont

- **La silice activée :** la silice activée est le premier flocculant utilisé, elle peut donner les meilleurs résultats lorsqu'elle est employée conjointement avec le sulfate d'aluminium. Elle est constituée d'une solution d'acide poly silicique  $(H_2SiO_3)_4$  provenant de la polymérisation de l'acide silicique. Parmi les autres flocculants minéraux utilisés, on peut







citer : certaines argiles, le blanc de Meudon ou le carbonate de calcium précipité et le sable fin ;

- **Polymères organiques** : ce sont des molécules chimiques fabriquées à partir de produits naturels : les alginates (extraits d'algues), les amidons (extraits de graines végétales) et certains dérivés de la cellulose. Mais, leur utilisation dans le traitement des eaux destinées à la consommation fait l'objet de règlements sanitaires.
- **Polymères synthétiques** : on distingue les polyacrylamides (polymères anioniques) et les polyamines (polymères cationiques).

Les premiers sont utilisés à la fois dans la clarification des eaux et la déshydratation des boues, alors que les polyamines sont employées exclusivement dans la clarification.

Aucune règle ne permet de prévoir lequel des flocculants peut donner les meilleurs résultats, il est donc nécessaire de faire des essais au laboratoire. Dans le cas de la clarification des eaux, le choix est à faire entre un flocculant anionique et un flocculant cationique. Si le pH est neutre et en présence de grandes quantités de matières organiques, on expérimente les flocculants cationiques [10].

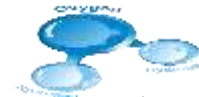
### II.3.3. Décantation

Une fois le floc formé, il faut réaliser la séparation solide-liquide qui permettra d'obtenir l'eau clarifiée d'un côté et les boues (particules colloïdales initiales + floc) de l'autre. On utilise en général l'action de la pesanteur sur les particules en suspension et l'on recueille ensuite l'eau claire à la partie supérieure de l'appareil, alors qu'on soutire les boues sédimentées dans la partie inférieure : c'est la **décantation**. Dans certains cas particuliers, où le floc est léger, on réalise une **flottation** et la situation est alors inversée : les boues sont évacuées sous forme d'écume à la partie supérieure et c'est le sous-nageant, recueilli par ramifications perforées ou cloison siphonide, qui donnera l'eau traitée.

Dans un décanteur, lorsque la concentration en matières est faible, le floc formé est dispersé et chaque flocon décante comme s'il était seul : c'est la **décantation diffuse** utilisée lorsque la floculation préalable a, elle aussi, été diffuse ; elle est mise en œuvre dans des **décanteurs statiques**, les plus anciens.

Lorsque la concentration en matières est plus élevée, l'abondance du floc crée une décantation d'ensemble, caractérisée par une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant : c'est la **décantation en piston** ou « **à contact de boues** »,





principalement utilisée dans les **décanteurs** « à lit de boues » ou « à recirculation de boues », dans lesquels l'eau brute, additionnée de ses réactifs, est mise en contact avec les boues préexistantes. Dans ces **décanteurs**, appelés aussi « **accélérés** », l'augmentation de la concentration est utilisée pour améliorer la floculation elle-même. D'autre part, la formation d'un lit de boues permet des vitesses de séparation plus élevées que dans un décanteur statique.

**La décantation lamellaire**, réalisée en introduisant des surfaces inclinées dans l'espace de décantation, améliore considérablement les conditions de la décantation, qu'elle soit statique ou accélérée. Enfin, on peut aussi augmenter la masse volumique apparente du floc en le lestant avec du microsable. On conçoit que les diverses combinaisons possibles de tous ces principes conduisent à une grande variété d'appareils.

### Problèmes de décantation

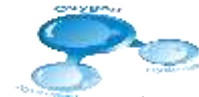
Les plus fréquents peuvent être :

- **Présence de sable** : un dessablage préliminaire évitera l'envasement du décanteur ;
- **Fortes pointes de matières en suspension** : suivant le cas, on choisira un appareil statique raclé de préférence à un décanteur accéléré, ou bien on placera un débourbeur (prédécanteur spécialement conçu à cet effet, précédé ou non d'une injection de coagulant) en amont d'un appareil accéléré à contact de boues ;
- **Variations brutales de température** : du fait des courants de convection qu'elles engendrent, elles provoquent des départs de boues si l'eau n'est pas parfaitement répartie dans l'appareil (dans une usine, il faut donc éviter d'utiliser l'eau brute comme échangeur de chaleur avant une phase de décantation, surtout si cet échange thermique présente des paramètres variables) ;
- **Abondance d'algues** : les bulles gazeuses qu'elles émettent provoquent des remontées de boues ; une préchloration, une préozonation et/ou un traitement simultané au charbon actif en poudre entrave ces phénomènes [9].

### II.3.4. Filtration

Que l'eau soit coagulée ou non, décantée (ou « flottée ») ou non, il faut toujours la filtrer pour que l'élimination des matières insolubles soit aussi complète que possible (c'est-à-dire pour que la turbidité soit ramenée au voisinage de zéro). La filtration est également indispensable en déferrisation-démanganisation, en polissage de décarbonatation, en aval des réacteurs biologiques d'élimination de l'ammonium ou des nitrates, etc.





C'est surtout la **filtration en profondeur**, sur **matériau granulaire**, qui constitue le cœur de la majorité des stations de préparation d'eau industrielle et qui sera développée ci-après ; cependant, on trouve aussi divers procédés où l'épaisseur du milieu filtrant est négligeable ou très faible devant sa surface et où les impuretés sont retenues sous forme d'un **gâteau** ne pénétrant pratiquement pas dans ce milieu :

- ✚ **Filtration sur support** : filtres à cartouches, à bougies, à précouche ;
- ✚ **Filtration sur membranes de microfiltration et d'ultrafiltration.**

Les **deux actions fondamentales qu'il faudra effectuer successivement en filtration** peuvent être résumées ainsi.

1. Produire une eau propre en retenant les impuretés.
2. Laver le filtre en chassant les impuretés sans perdre ou détériorer le milieu filtrant.

La filtration est donc une opération cyclique, alternant (ou combinant) des phases (ou cycles) de production par filtration et des phases de lavage. Ce dernier doit intervenir :

- ✚ Soit lorsque la perte de charge atteint une valeur fixée par construction ou par sécurité ;
- ✚ Soit lorsque la qualité du filtrat commence à se détériorer (par exemple, augmentation de la turbidité : on dit alors que le filtre « crève ») [1].

### II.3.5. Flottation

Certaines eaux (lacs, barrages en particulier) sont relativement claires, mais colorées ou riches en algues : elles réclament alors de fortes doses de coagulant sans que le floc puisse être alourdi par des matières initialement en suspension dans l'eau brute ; sur de telles eaux, la décantation est donc souvent difficile (à moins de jouer sur les forces de cohésion qui s'exercent au sein d'un appareil à lit de boues comme le Pulsator).

La flottation à air dissout est alors une variante intéressante de la décantation. L'eau brute, additionnée de réactifs, passe d'abord dans un flottateur dont le temps de contact est de 20 à 30 min. Elle est ensuite dirigée vers une chambre de mélange où est introduite une fraction d'eau saturée en air sous une pression de 4 à 5 bars. La détente de cette eau pressurisée entraîne l'apparition de fines bulles d'air (40 à 70  $\mu$ m) qui se fixent sur les précipités dont la masse volumique apparente devient alors inférieure à celle de l'eau.





L'eau floculée mélangée à l'eau pressurisée pénètre ensuite dans le flotteur où s'opère la séparation, les précipités étant récupérés en surface de l'appareil sous forme d'une écume éliminée par un raclage superficiel, alors que l'eau clarifiée est reprise à la partie inférieure. La flottation permet d'obtenir des caractéristiques d'eau analogues à celles obtenues par décantation.

Il existe divers types de flotteurs fonctionnant, suivant les modèles, à des vitesses de séparation de l'ordre de  $7 \text{ à } 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Pour traiter les eaux naturelles, les plus courants sont rectangulaires et forment un ensemble compact avec les flocculateurs et les filtres.

En cas de besoin, il est possible de choisir un appareil circulaire avec raclage de fond pour répondre aussi à des périodes de turbidité notable.

Il est également possible de construire des flottateurs-filtres combinés, intégrant la filtration au-dessous de la zone de flottation [9].

### II.3.6. Modifications des caractéristiques calco-carboniques

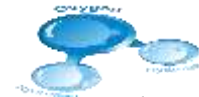
Il s'agit des traitements qui interviennent sur tout ou partie des paramètres suivants : pH, TA, TAC, TH,  $T_{Ca}$ ,  $T_{Mg}$ ,  $\text{CO}_2$  libre ; les principaux d'entre eux sont :

- La neutralisation du  $\text{CO}_2$  agressif (lutte contre la corrosion des réseaux de distribution et de certains circuits) ;
- Les traitements d'adoucissement (élimination totale ou partielle du TH) et/ou décarbonatation (élimination du TAC) ;
- La reminéralisation des eaux dont le TAC et/ou le TH sont au contraire trop faibles par rapport à l'objectif recherché.

#### II.3.6.1. Neutralisation de l'agressivité

Dans certains cas, lorsque l'on ne désire pas augmenter la salinité de l'eau (en particulier en sortie d'une décarbonatation sur résine carboxylique), on la réalise par élimination physique du  $\text{CO}_2$  agressif dans une **aération ouverte** ; dans d'autres cas, il est préférable de pratiquer cette neutralisation par voie chimique ; on utilise alors la **soude**, la **chaux** ou le **carbonate de sodium**. C'est la chaux, du fait de son prix, qui est le réactif le plus fréquemment employé ; on a intérêt dans ce cas à utiliser un saturateur de chaux, qui retient les incrustations et fournit une eau de chaux limpide. On peut aussi filtrer l'eau sur un **carbonate alcalino-terreux granulé** (Exemple : Neutralité, Neutra Ig, Akdolit, Magno, marbre, etc.).





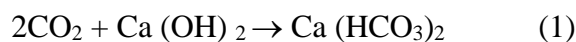
Le calcul d'un tel filtre doit prendre en compte, outre le débit d'eau à traiter, sa concentration en  $\text{CO}_2$  agressif, sa température et son TAC. D'autre part, ce matériau étant consommable, il faut évidemment baser le calcul sur le volume résiduel avant recharge, et non sur le volume initial. Comme pour le CAG, ce calcul s'exprime en charge volumique ( $\text{vol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{vol}^{-1}$ ), c'est-à-dire en volumes d'eau traités en une heure par un volume de matériau neutralisant.

Ces traitements de neutralisation chimique conduisent à un accroissement de la minéralisation de l'eau (TAC et, dans le cas de l'utilisation de produits alcalino-terreux, TH). Si les titres résultants sont insuffisants, par exemple pour éviter que l'eau soit corrosive vis-à-vis des conduites métalliques bien qu'étant à l'équilibre calco-carbonique, il faut mettre en œuvre une reminéralisation complémentaire.

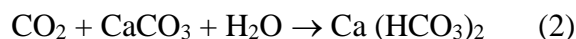
### II.3.6.2. Reminéralisation

Le TAC et le TH (en particulier, le TH calcique) peuvent être artificiellement augmentés par divers procédés :

- Injection de  $\text{CO}_2$  et de chaux (lait de chaux en amont d'une clarification, eau de chaux dans une eau limpide) ; c'est le procédé le plus élégant, n'introduisant aucun autre ion indésirable dans l'eau :



- Injection de  $\text{CO}_2$  et filtration sur carbonate alcalino-terreux granule :



Chimiquement, ce procédé présente le même avantage que le précédent, mais il est plus lourd à mettre en œuvre (filtres à  $\text{CaCO}_3$ ) ; en revanche, il est plus facile à exploiter ;

Autres procédés :



$\text{H}_2\text{SO}_4$  + filtration sur  $\text{CaCO}_3$ , etc...



### II.3.6.3. Adoucissement

- **Adoucissement avec décarbonatation**

Dans cette catégorie de procédés, on élimine simultanément la dureté ( $T_{Ca}$  et éventuellement  $T_{Mg}$ ) et les bicarbonates et carbonates (TAC) qui lui sont associés. On distingue les procédés à la chaux et sur résine.

- **Adoucissement-décarbonatation à la chaux**

Ce traitement, qui est mis en œuvre dans un réacteur-décanteur, abaisse les titres en calcium et en magnésium de l'eau par précipitation sous forme de carbonate et d'hydroxyde, respectivement ;

On assiste donc simultanément à un abaissement du TAC, d'où le nom du procédé qui est basé sur les réactions suivantes :



Puis, avec un excès de chaux :

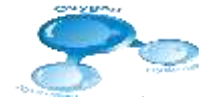


Si les doses de réactif sont exactement ajustées, on réduit l'alcalinité de l'eau à la solubilité théorique du système  $\text{CaCO}_3 + \text{Mg(OH)}_2$  qui est comprise entre 2 et 3 °f dans les conditions usuelles de concentration et de température. Cependant, cette valeur limite peut être augmentée dans la pratique par la présence d'impuretés organiques, lesquelles peuvent toutefois être éliminées par une clarification préalable [12].

### II.3.7. Désinfection

➤ **Principe**

Les agents pathogènes transmis par voie hydrique sont de trois types les bactéries, les virus et les parasites. On recherche les germes témoins de contamination fécale ou pathogènes (GTCTF) qui sont la preuve d'une pollution fécale. La relation entre le germe témoin et les risques d'apparition d'infection doivent être établis et son origine fécale certaine. Il résiste au milieu



hydrique, mais incapable de s'y reproduire. Les coliformes, streptocoques et salmonelles constituent les GTCF.

Au départ de l'usine, une très faible flore bactérienne est mesurée par les techniques classiques. En réalité, il existe un nombre important de bactéries blessées ou stressées par le désinfectant capable de régénération qui peuvent se déposer ou niveau des canalisations afin de former un biofilm ou un nid microbien dans le réseau. En effet, le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables : puissance du désinfectant, concentration du désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, types de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et enfin, la concentration de matières organiques dans l'eau [13].

#### ➤ Les désinfectants

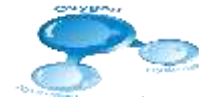
- Acide hypochloreux, HOCl ;
- Le chlore gazeux Cl<sub>2</sub> ;
- Ions hypochlorites OCl<sup>-</sup> ;
- Hypochlorites de sodium, NaOCl ;
- Hypochlorites de calcium, CaOCl ;
- Monochloramines, NH<sub>2</sub>Cl ;
- Dichloramines, NH<sub>2</sub>Cl ;
- Trichloramines, NCl<sub>3</sub> [10] ;
- L'ozone O<sub>3</sub> ;
- Dioxyde de chlore, Cl<sub>2</sub>O ;
- Ultraviolets [13].

#### ➤ Critères de choix du désinfectant

Tous les procédés et les produits de désinfection n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution, etc.) et sachant qu'un désinfectant ou un procédé de désinfection doit :

- Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux ;
- Être toxique, à de faibles concentrations, pour les microorganismes ;
- Être soluble dans l'eau ;
- Former avec l'eau une solution homogène ;
- Être efficace aux températures normales de l'eau de consommation (de 0 à 25° C) ;





- Être stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps ;
- Ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des micro-organismes ;
- Ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive ;
- Eliminer les odeurs ;
- Exister en grande quantité et être vendu à un prix abordable ;
- Être facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs ;
- Permettre une mesure aisée de sa concentration et un bon contrôle de celle-ci [11].

### **Mode d'action des désinfectants**

L'action d'un désinfectant chimique ou physique varie suivant de nombreux paramètres, Le spectre d'activité et la solubilité du produit sont essentiels. Le pH influence l'efficacité de l'élément chlore. En effet, le pourcentage de la forme réellement bactéricide évolue suivant l'acidité du milieu les matières organiques consomment l'oxydant avant que celui-ci n'ait agi sur les micro-organismes. La résistance de ceux-ci est primordiale. Une bactérie peut être sensible ou résistante et peut éventuellement développer des formes de résistance comme les spores. La température peut faire augmenter ou baisser la réactivité d'un oxydant. Dans le cas du couple Giardia – O<sub>3</sub>, une hausse de 10 °C fait diminuer la valeur de la concentration résiduelle du désinfectant Ct nécessaire de moitié.

Seul l'ozone possède une forte activité virulicide. Il oxyde directement ou par radicaux libres les protéines de l'enveloppe et de la capsid dont la perméabilité augmente brutalement. L'oxydation de l'acide nucléique est alors possible. Les cibles de la structure bactérienne sont la membrane cytoplasmique, les enzymes respiratoires associées et l'ADN. L'augmentation de la perméabilité membranaire provoque une fuite d'ions responsable d'une chute de la pression osmotique qui entraîne la lyse bactérienne. Les oxydants chimiques classiquement utilisés tels que le dichlore, le bioxyde de chlore et l'hypochlorite de sodium sont efficaces.

Les mécanismes de l'inactivation des protozoaires sont mal connus. Néanmoins, la rupture membranaire semble être en cause. L'éradication des kystes de protozoaires est très problématique Le Cl<sub>2</sub>, et le ClO<sub>2</sub>, sont quasiment inefficaces pour des valeurs moyennes de Ct respectives de 300 et 13 mg.L<sup>-1</sup>. min. Seul l'ozone avec une Ct de l'ordre de 2 mg.L<sup>-1</sup>. min a une action certaine. La persistance d'un oxydant dans l'eau traitée ou rémanence, est la garantie de la limitation de la prolifération des micro-organismes dans le réseau de distribution. L'ozone ne possède pas cette qualité [13].





## II.3.8. Adsorption

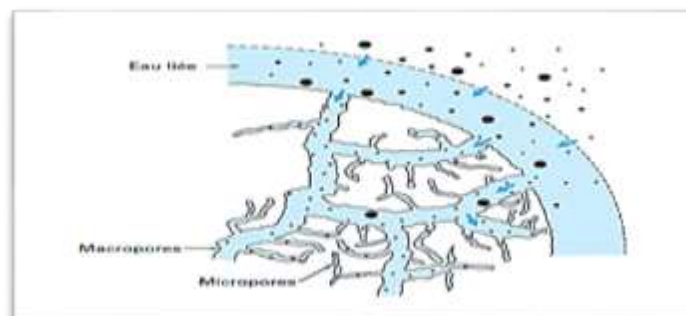
### II.3.8.1. Généralités sur le charbon actif

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des molécules extraites de la phase liquide ou gazeuse dans laquelle ils sont immergés. Parmi les matériaux adsorbants (qui comprennent également les zéolites naturelles, certaines résines synthétiques, etc.), le charbon actif est actuellement le plus utilisé.

Le charbon actif est issu de diverses origines (houille, lignite, anthracite, schistes bitumeux, noix de coco, tourbe, bois de pin, etc.) et préparé par des procédés très élaborés (séchage, carbonisation à 500-600 °C sans air et oxydation ménagée à 850-1000 °C en présence de vapeur d'eau) ; sous l'influence de ce traitement, il ne subsiste que le squelette carboné et le matériau a acquis une très grande porosité, en présentant une grande diversité dans la taille et la structure des pores (macro pores et micropores, voir figure II.2) ; grâce à cette porosité hétérogène et à la grande surface spécifique développée (500 à 1500 g.m<sup>-2</sup> suivant le cas), le charbon est un adsorbant qui peut retenir à sa surface des molécules de toutes tailles.

Le charbon actif a tout d'abord été utilisé pour améliorer les qualités organoleptiques d'une eau en éliminant les matières organiques responsables de goûts, d'odeurs et de couleur. Avec l'accroissement de la pollution, son emploi s'est étendu à l'élimination de nombreux polluants et micropolluants tels que les phénols, les hydrocarbures, les pesticides, les détergents, et même certains métaux lourds qui ne sont pas totalement éliminés par les procédés de coagulation-floculation-décantation et filtration sur sable. Il participe également à l'élimination des précurseurs de THM et autres sous-produits de chloration.

Dans d'autres applications, ses propriétés réductrices sont utilisées pour éliminer un oxydant résiduel, tel que le chlore.



*Figure II.2 : Adsorption sur une particule de charbon actif [9].*

### II.3.8.2. Formes du charbon actif

Il peut se présenter sous deux formes : en poudre et en grains.

- **Charbon actif en poudre (CAP)**

Il est généralement utilisé sous forme de suspension que l'on introduit dans l'eau brute au voisinage du point d'injection du coagulant. Il est éliminé dans les décanteurs avec le floc et les autres matières en suspension : par conséquent, il ne peut pas être récupéré et réutilisé. À ce niveau, il ne travaille sur la micropollution que par un effet physique d'adsorption. Par l'effet de filtre fluidisé qu'ils exercent, les décanteurs à lit de boues sont particulièrement adaptés pour retirer le maximum d'efficacité du CAP (pour obtenir le même résultat dans l'eau décantée, le taux de traitement en CAP peut y être inférieur d'environ 30 % à celui qu'il faudrait appliquer dans un décanteur statique). La mise en œuvre du CAP est simple et nécessite des coûts d'investissement assez faibles. Toutefois, son utilisation de façon continue et à des taux importants ( $> 20 \text{ g.m}^{-3}$ ) peut entraîner des coûts d'exploitation élevés. Il est donc surtout utilisé pour lutter contre des pollutions légères et/ou de courte durée. Néanmoins, il représente un traitement de sécurité appréciable pour faire face à une pollution accidentelle et soulager une chaîne d'affinage plus élaborée placée en aval. On peut également utiliser le charbon en poudre sous forme de précouche de filtre à bougie pour l'affinage des eaux industrielles de haute pureté (traitement de condensats, eau de rinçage dans l'industrie électronique...).

- **Charbon actif en grains (CAG)**

Il est utilisé sous forme de lits filtrants permettant éventuellement d'utiliser, dans un même ouvrage, les propriétés filtrantes et adsorbantes du charbon. Les filtres à CAG peuvent être installés :

- Soit à la place des filtres à sable : « filtration sur CAG en premier étage » (rôles simultanés de clarification et d'affinage) ;
- Soit après une filtration rapide sur sable : « filtration sur CAG en deuxième étage » (rôle d'affinage principalement, de beaucoup préférable pour l'efficacité et la durée de vie du charbon).

Le CAG est mis en œuvre dans des filtres qui sont analogues à ceux utilisés en clarification et dont le lavage se rapprochera de celui des filtres bicouches (air seul, puis rinçage à l'eau seule avec mise en expansion du lit filtrant). Ces filtres peuvent être ouverts (gravitaires) ou fermés (sous pression).



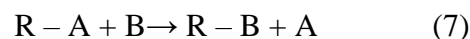
Leurs caractéristiques sont en général :

- **Taille effective du CAG** : de l'ordre de 1 mm en premier étage de filtration et de 0,75 mm en deuxième étage de filtration ;
- **Hauteur de couche** : 0,8 à 2 m ;
- **Vitesse de filtration** : 5 à 10 m<sup>3</sup> . h<sup>-1</sup> . m<sup>-2</sup> ;
- **Charge volumique** : 3 à 12 volumes d'eau par heure et par volume de CAG, soit en temps de contact à vide de 5 à 20 min [9].

### II.3.9. Échangeurs d'ions

#### II.3.9.1. Généralités sur les échangeurs d'ions

D'une façon générale, les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles, minérales ou organiques, d'origine naturelle ou synthétique, qui comporte des fonctions acides ou basiques susceptibles d'échanger leurs ions mobiles avec les ions de même signe contenus dans les solutions avec lesquelles ils sont mis en contact. Cette forme d'échange est en général une réaction d'équilibre, de la forme :



Une telle réaction est une permutation, qui ne modifie ni l'aspect (sauf éventuellement la couleur), ni la structure, ni le caractère insoluble de l'échangeur d'ions. Par contre, elle permet de modifier la composition ionique du liquide, objet du traitement, sans modification du nombre total d'ions existant dans ce liquide au début de l'échange.

Les échangeurs d'ions ont d'abord été des terres naturelles, puis des composés synthétiques, minéraux (silice, alginate, alumine) et organiques, ces derniers étant presque exclusivement employés actuellement sous le nom de **résines**.

Pour que l'équilibre (7) se déplace dans le sens désiré (**phase de fixation**), par exemple de gauche à droite, il faut travailler par équilibres successifs à travers des couches superposées d'échangeur et fonctionner par percolation, mais il subsiste pratiquement toujours une fuite ionique plus ou moins importante de l'ion que l'on souhaite fixer : la qualité de l'effluent dépend donc surtout de la dernière couche traversée, et l'installation doit être conçue de façon à ce que l'eau sortant des dernières couches présente une concentration voisine de zéro pour l'ion indésirable. Le cycle de fixation doit être arrêté lorsque la fuite ionique devient perceptible : on dit alors que l'on a atteint le point de fuite et il faut passer à la phase de **régénération**, qui





consiste à introduire un réactif qui déplace l'équilibre en sens inverse du précédent. Cette régénération peut se faire à co-courant ou à contre-courant ; la seconde est préférable tant sur le plan de la consommation des réactifs que sur celui de la qualité de l'eau traitée obtenue après régénération.

### II.3.9.2. Différents types de résines

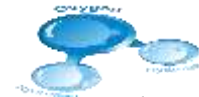
Les résines actuelles se présentent généralement sous la forme de particules sphériques dont le diamètre est compris entre 0,3 et 1,2 mm ; la tendance actuelle est de fabriquer des résines dont toutes les billes sont parfaitement sphériques et présentent rigoureusement le même diamètre (résines monocalibrées de Dow, Röhm & Haas...), améliorant le pouvoir d'échange, limitant les zones mortes, permettant un meilleur reclassement et réduisant notablement la formation de fines. Fondamentalement, on distingue les échangeurs de cations fortement ou faiblement acides et les échangeurs d'anions fortement ou faiblement basiques.

**Échangeurs de cations fortement acides** : ce sont des polystyrènes sulfonés, de formule générale  $R-SO_3H$  ; leur acidité est voisine de celle de l'acide sulfurique. Ils sont capables, sous la forme  $H^+$  (correspondant à la formule ci-dessus), de fixer tous les cations d'une solution de pH 1 à 13.

**Échangeurs de cations faiblement acides** : ce sont des échangeurs carboxyliques, de formule générale  $R-COOH$  (R étant généralement représentatif d'un squelette polyacrylique). Sous la forme  $H^+$ , ils sont capables de libérer l'acide carbonique par fixation des cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ...) correspondant aux bicarbonates, mais ne peuvent pas échanger les cations en équilibre avec des anions d'acide fort ( $Cl^-$ ). Sous une forme neutralisée ( $Na^+$  par exemple), ils ne peuvent fixer que des cations divalents et/ou trivalents d'une solution de pH 3 à 8.

**Échangeurs d'anions fortement basiques** : de formule générale  $R-OH$  (R étant un squelette polystyrénique ou parfois polyacrylique), ils comportent des ammoniums quaternaires, simples (type I) ou alcoylés (type II) ; par rapport aux échangeurs de type I, ceux de type II présentent une basicité plus faible et une fuite en silice plus élevée, mais une plus grande capacité et une meilleure facilité de régénération. Ces résines peuvent fixer tous les anions d'acides forts et faibles, pour une zone de pH de 1 à 12.

**Échangeurs d'anions faiblement ou moyennement basiques** : tous ces produits comportent un mélange d'amines primaires, secondaires, tertiaires (les plus utilisées) et parfois quaternaires. Le noyau de la molécule est de nature très variée, ce noyau pouvant être aliphatique, aromatique ou hétérocyclique. Ils ne fixent pas les anions d'acides faibles, tels que



l'acide carbonique ou la silice, et fixent les anions d'acides forts dans une zone de pH de 1 à 5 [9].

### II.3.10. Elimination du fer et du manganèse

Le fer et le manganèse ne sont pas des polluants majeurs et leur ingestion ne pose pas de danger pour l'homme. Cependant, la réglementation exige de limiter leur concentration dans les eaux de consommation, notamment afin d'éviter tout dépôt ultérieur dans le réseau. Trois grandes familles de traitement peuvent être mises en œuvre :

- a) le traitement biologique, non retenu car plus délicat à maîtriser et plus difficile à mettre en œuvre que le traitement par oxydation chimique, surtout pour l'élimination du manganèse.
- b) les traitements physicochimiques, retenus, incluant une première étape de précipitation des métaux (oxydation, puis coagulation) suivie d'une deuxième étape de clarification (filtration en profondeur). La précipitation du fer peut être obtenue par une simple aération sans qu'il soit besoin d'introduire un oxydant ou d'augmenter le pH. La précipitation du manganèse nécessite l'utilisation d'un oxydant plus puissant (ozone ou permanganate de potassium).
- c) la filtration catalytique au dioxyde de manganèse ( $MnO_2$ ), retenue, ayant pour effet d'oxyder le fer et le manganèse, de les précipiter et de les retenir dans la masse filtrante [15].

### II.3.11. Stabilisation de l'eau

Lorsqu'on soumet les eaux à un traitement complet (coagulation -floculation - décantation - filtration - désinfection) avant leur distribution, il n'est pas rare que, à la sortie des filtres, leur pH soit inférieur à 6,5. On doit dans la plupart des cas réajuster le pH de ces eaux pour l'amener à une valeur acceptable avant de les distribuer. La stabilisation est donc un procédé grâce auquel on ajuste le pH d'une eau à son pH d'équilibre également appelé pH de saturation (pHs). Dans le traitement de l'eau, on fait toujours référence à l'équilibre du carbonate de calcium : ainsi, une eau à son pH d'équilibre n'a tendance ni à dissoudre ni à faire précipiter le  $CaCO_3$ . On peut toutefois cependant, en ajustant le pH à une valeur supérieure à celle du pHs. Provoquer une précipitation du carbonate de calcium dans les conduites. Ce dépôt, s'il est adhérent et imperméable, protège alors l'intérieur des conduites des attaques de la corrosion. On peut donc contrôler l'épaisseur du dépôt en jouant sur le pH des eaux [9].



---

## **Partie II**

---

---

# **Chapitre I**

## **Présentation du complexe**

---





## **I.1. Partie I : Présentation de la zone d'étude**

### **I.1.1. Introduction**

La Société Algerian Qatari Steel (AQS) a été créée en décembre 2013 et résulte d'un partenariat d'investissement entre la République Algérienne et l'État du Qatar. Dotée d'un capital social de 58, 610, 000, 000 Dinars Algériens. Elle est détenue à 49% par Qatar Steel International (QSI), à 46% par le Groupe Industriel SIDER et à 05% par le Fonds National d'Investissement (FNI).

Grâce à son volume de production, à sa fiabilité opérationnelle et à ses progrès techniques, l'Algerian Qatari Steel occupe une place importante dans la carte de l'industrie sidérurgique nationale et régionale.

SIDER et QATAR STEEL, les partenaires principaux d'AQS, sont des sociétés avec une longue expérience dans le domaine de la sidérurgie, qui ont la responsabilité de gérer et opérer les deux grands complexes sidérurgiques de l'Algérie (Complexe d'El Hadjar à d'Annaba) et du Qatar (Complexe MIC près de Doha), respectivement. La technologie implantée au Complexe MIC de Qatar Steel et celle de la Réduction Directe, similaire à la technologie retenue pour le Complexe de Bellara.

L'AQS accorde également une grande attention au capital humain, en tant que moteur de croissance économique et de progrès social, notamment à travers la création d'un environnement de travail, qui encourage la créativité et l'innovation au profit de ses 1500 employés de différentes disciplines et qualifications.

L'Algerian Qatari Steel contribue à la création de richesse et au soutien du tissu industriel national en répondant aux besoins du marché local du Fer et en exportant la production excédentaire sur les marchés régionaux et internationaux.

L'AQS a commencé la production et la commercialisation de produits en Fer à la fin de l'année 2017. La capacité de production initiale du Complexe est d'environ 2 millions de tonnes par an de rond à béton et fil machine de différents diamètres. La deuxième Phase du programme d'investissement sera consacrée à la production d'autres types d'aciers spéciaux utilisés dans de nombreuses industries amenant ainsi la capacité de production à plus de 4 millions de tonnes par an.



### I.1.2. Définition de l'entreprise

Une entreprise est une structure économique et sociale qui regroupe des moyens humains, matériels, immatériels et financiers, qui sont combinés de manière organisée pour fournir des biens ou des services à des clients dans un environnement concurrentiel (le marché) ou non concurrentiel (le monopole) avec un objectif de rentabilité.

Elle est détenue à 49% par Qatar Steel International (QSI), à 46% par le Groupe Industriel SIDER et à 05% par le Fonds National d'Investissement (FNI). Grâce à son volume de production, à sa fiabilité opérationnelle et à ses progrès techniques, l'Algérien Qatari Steel occupe une place importante dans la carte de l'industrie sidérurgique nationale et régionale.

La société est dirigée par un conseil d'administration comprenant neuf (9) membres, désignés de façon réglementaire par l'assemblée générale des actionnaires.

**Le capital de la société** est représenté par 586 100 actions de 100 000 DA chacune souscrits comme suit :

Groupe industriel IMETAL : 269 606 actions.

Fonds national d'investissement : 29305 actions.

Qatar Steel international : 287 189 actions.

### I.1.3. Défis et enjeux

L'Algerian Qatari Steel contribue à la création de richesse et au soutien du tissu industriel national en répondant aux besoins du marché local du Fer et en exportant la production excédentaire sur les marchés régionaux et internationaux.

L'AQS a commencé la production et la commercialisation de produits en Fer à la fin de l'année 2017. La capacité de production initiale du Complexe est d'environ 2 millions de tonnes par an de rond à béton et fil machine de différents diamètres. La deuxième phase du programme d'investissement sera consacrée à la production d'autres types d'aciers spéciaux utilisés dans de nombreuses industries amenant ainsi la capacité de production à plus de 4 millions de tonnes par an.

### I.1.4. Structures du complexe

Le complexe sidérurgique (AQS) de Bellara est doté de la technologie la plus avancée au monde et comprend neuf unités de production respectueuses de l'environnement, qui



garantissent une efficacité maximale de la production et une qualité de produits conforme aux normes internationales.



*Figure I.1 : Structure du complexe.*

### **I.1.5. Situation géographique du complexe**

L'AQS opère dans la zone industrielle de Bellara, dans la commune d'El-Milia, (wilaya de Jijel), située à 400 Km de la capitale Alger, où elle exploite un complexe sidérurgique d'une superficie de 216 hectares.

Le site situé :

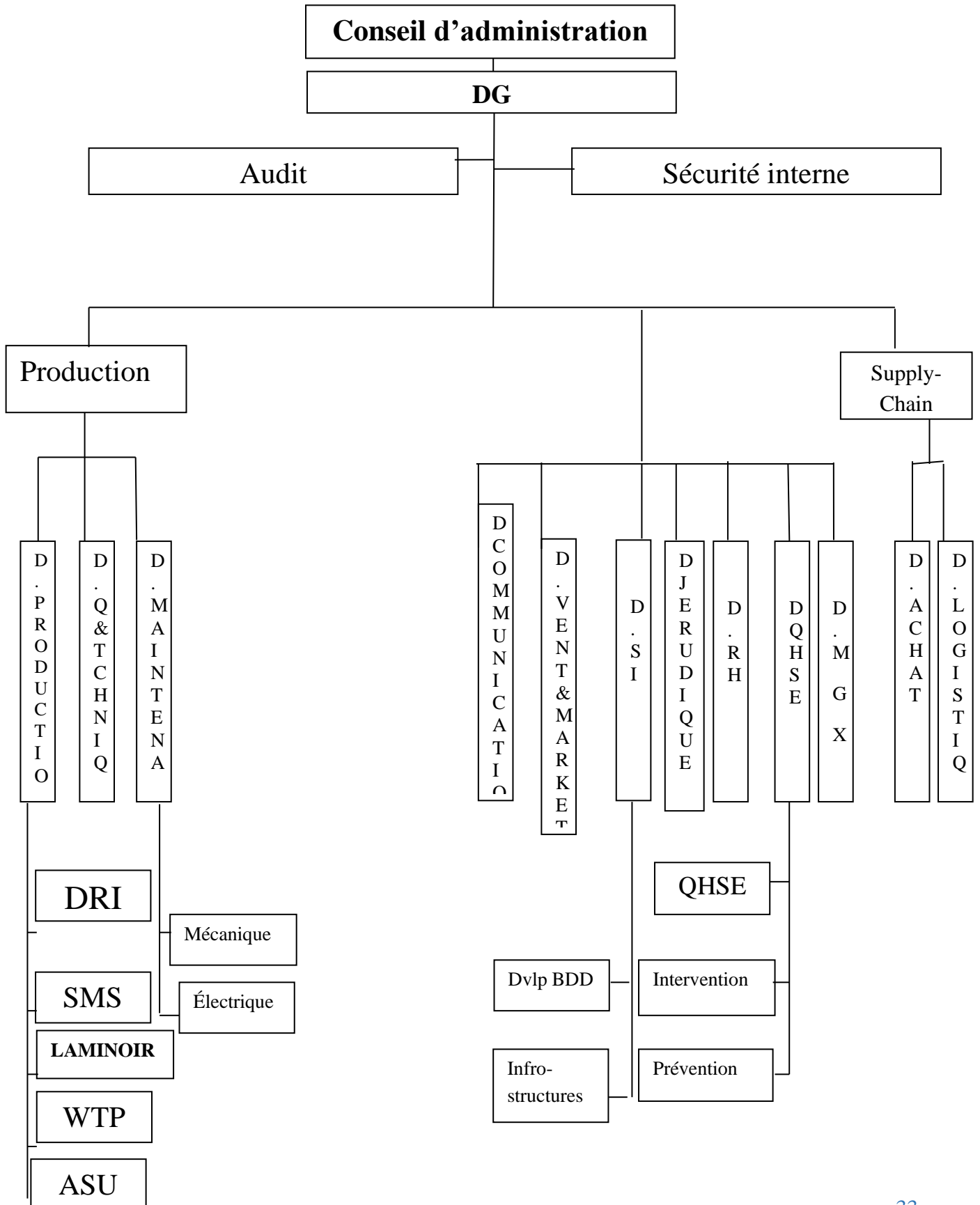
Wilaya Jijel, Daïra Milia, Commune Milia, Site zone Bellara.

Le site est délimité de :

- Nord : par la colline BENI ZEBANNE ;
- Sud : la future centrale électrique de SONELGAZ de 1500MW ;
- Est : Oued EL-KEBIR avec une digue de protection de 3 m de hauteur ;
- Ouest : Route nationale de contournement de la zone d'habitation Ouled Ali.



I.1.6. Organigramme de l'entreprise



## I.1.7. Unités de complexe

### I.1.7.1. Unités principales

- **Unité de production de l'acier (DRI)**

Également appelé éponge, est fabriqué à partir de la réduction directe du minerai de fer (sous forme de grumeaux, de granulés ou de fines) en fer par un gaz réducteur ou un carbone élémentaire issu du gaz naturel ou du charbon. Le fer réduit dérive du changement chimique que subit le minerai de fer lorsqu'il est chauffé dans un four à haute température en présence de gaz riches en hydrocarbures, de monoxyde de carbone ou de carbone élément.



*Figure I.2 : Unité de production de l'acier (DRI).*

- **Usine de production d'acier avec 2 aciéries électriques (SMS)**

La fabrication de l'acier est le processus de production d'acier à partir de minerai de fer et de ferraille. Dans la fabrication de l'acier, des impuretés telles que l'azote, le silicium, le phosphore, le soufre et l'excès de carbone sont éliminées du fer brut, et des éléments d'alliage tels que le manganèse, le nickel, le chrome et le vanadium sont ajoutés pour produire différentes nuances d'acier. Ce projet repose sur la technologie.

De l'acier au four à arc électrique (EAF) (1650°C), qui utilise de la ferraille et du fer à réduction directe (DRI) comme matière principale.

L'usine de production d'acier contenant également les unités auxiliaires suivantes :

- Station de traitement des fumées ;
- Déchet de ferraille (Scrap yard) ;
- Station de traitement des eaux ;
- Ferroalloy.



*Figure I.3 : Le four électrique (IAF) (SMS).*



- **Laminoir (Rolling Mill) (RM<sub>s</sub>)**

Le processus de laminage comprend le réchauffage de chaleur de billets (1050°C), les opérations de laminage et de formage. Dans cette plante, la taille, la forme et les propriétés métallurgiques des billets métalliques sont modifiées par compression répétée de métal chaud entre des rouleaux entraînés électriquement.



*Figure I.4 : Les billets (Laminoir).*

#### **I.1.7.2. Installations complémentaires**

- **Unité de séparation d'air (ASU)**

Une installation de séparation d'air sépare l'air atmosphérique en ses composants primaires, typiquement l'azote et l'oxygène, et parfois aussi l'argon et d'autres gaz inertes rares.





*Figure I.5 : Unité de séparation d'air (ASU).*

- **Unité traitement de chaux (Lime plant) (LMP)**

L'usine de production de chaux est utilisée pour produire à la fois la chaux rapide et la chaux dolomitique (dolo lime) à partir des matières premières correspondantes en utilisant deux fours.

- Les produits seront utilisés principalement pour la fabrication d'acier dans le SMS ;
- Une petite partie sera utilisée pour le revêtement de pellets dans l'usine de DRI.



*Figure I.6 : Unité traitement de chaux (Lime plant) (LMP).*



- **Station de récupération et de transport des matières premières**

La manipulation des matériaux et le chargement, le déplacement et le déchargement des matériaux. Pour le faire de manière sûre et économique, différents types d'attaques, de gadgets et d'équipement sont utilisés. L'importance première de la manipulation des matériaux est qu'elle aide la productivité et augmente ainsi la rentabilité d'une industrie (3430000 tonnes/an).

*Figure I.7 : Station de récupération et de transport des matières premières.*



- **Station générale de traitement des eaux (WTP)**

Le traitement de l'eau est un procédé qui rend l'eau plus acceptable pour une utilisation finale spécifique. L'utilisation finale peut être la consommation d'eau potable, l'approvisionnement en eau industrielle, l'irrigation, l'entretien des cours d'eau, les loisirs nautiques ou bien d'autres utilisations, y compris le retour en toute sécurité dans l'environnement. Le traitement de l'eau supprime les contaminants et les composants indésirables, ou réduit leur concentration afin que l'eau soit adaptée à son utilisation finale souhaitée.





*Figure I.8 : Station générale de traitement des eaux (WTPg).*

- **Sous-station électrique (MRSS)**

Une sous-station fait partie d'un système de génération, de transmission et de distribution électrique. Les sous-stations transforment la tension du haut vers le bas, ou vers l'inverse, ou effectuent l'une des nombreuses autres fonctions importantes. La sous-station de complexe d'acier de Bellara (poste 400 KV) composée de : bâtiment de contrôle ; construction de relais ; transformateurs et salle diesel. Ce sera le chargeur de l'énergie électrique du complexe d'une capacité de 450 MW. Les équipements principaux de cette sous-station sont : transformateur 400/33 KV et 33/6,6 KV.



*Figure I.9 : Sous-station électrique (MRSS).*

### I.1.8. Production de complexe

Dans la première phase l'usine a une capacité de production de 2 millions de tonnes de produits sidérurgique par an, il commercialise une large gamme de produit conforme à l'exigence clients et aux exigences normatives.

Ces produits sont :

- **Rond à béton**

Produit laminé à chaud en acier d'usage multiple pour la construction haute adhérence, soudable de nuance RB 500. Le produit rond à béton soudable produit par l'AQS est conforme aux exigences de l'arrête interministériel de 8 Mars 1997, à la norme NA8634 (2015) et à l'ISO 6935-2 (2015).

La capacité de production est de 1.5 MT/an de diamètres : 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40 mm, et de longueur 12m (-0mm +100mm) avec possibilité de réaliser des longueurs spécifiques inférieurs à 12m selon la demande des clients pour les diamètres allant du 8mm au 16mm. 12m à 18m pour les diamètres allant du 16mm au 40mm.



*Figure I.10 : Rond à béton.*



- **Fil machine**

Fil machine de section rond de diamètre variant entre de 5.5 mm à 14 mm de haute qualité. Le fil machine rond et lisse est obtenu par laminage à chaud conformément à la norme Algérienne NA 8634 et selon les normes internationales. La capacité de production est 0.5MT/an.



*Figure I.11 : Fil machine.*

## **I.2. Présentation de la Station de traitement des eaux (WTP)**

### **I.2.1. Objectif**

Présenter les différents traitements d'eau d'appoint ; station de traitement d'eau potable du complexe d'acier de BALLARA, wilaya de Jijel, Algérie.

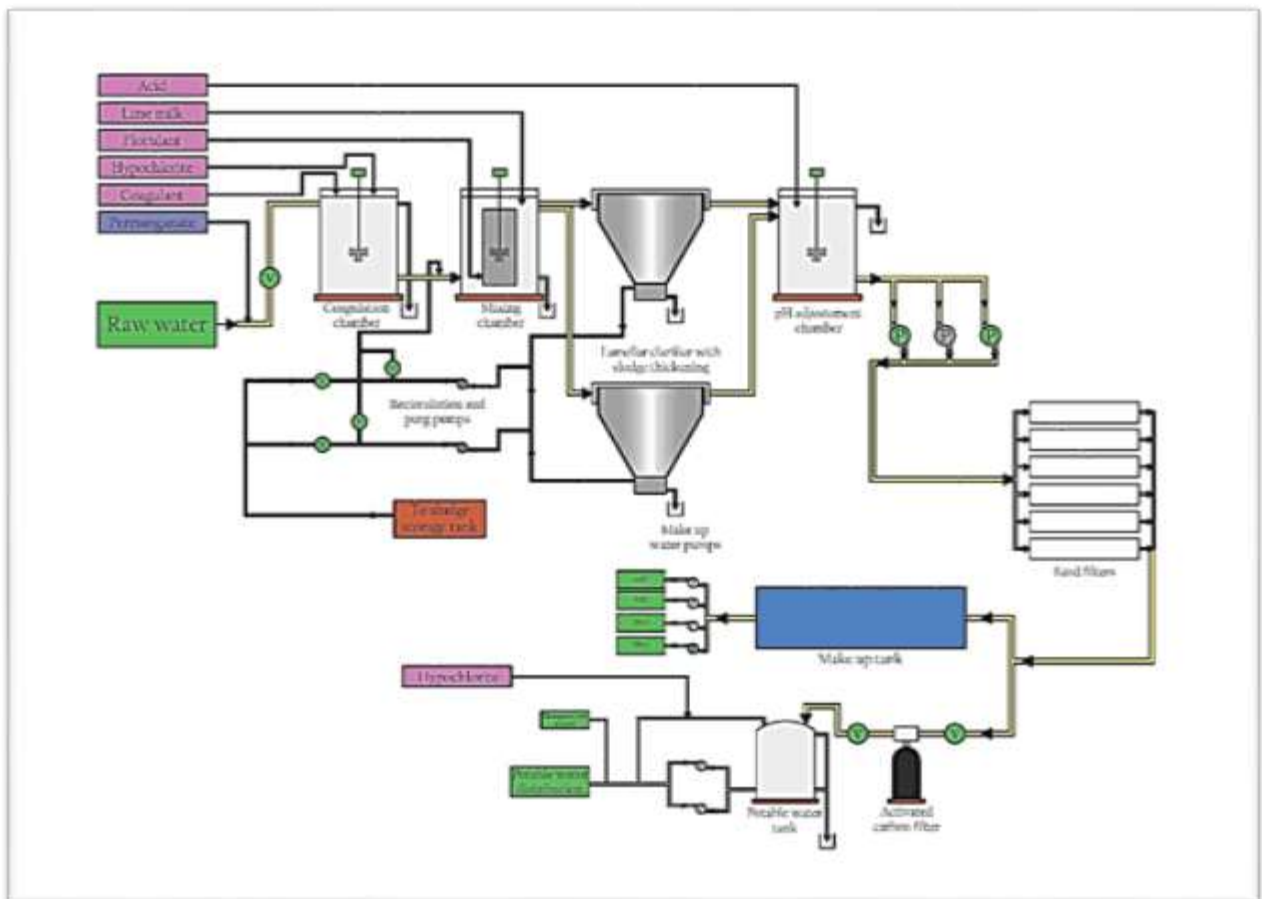
Cette station alimente les différentes unités de production DRI, SMS, RM et ASU ; en conformité avec leurs exigences en matière de qualité et de quantité, ainsi que pour la production de l'eau potable.

### I.2.2. Usine de traitement des eaux d'appoint et des eaux potable

La station de traitement des eaux (water treatment plant) avec une capacité de 1320 m<sup>3</sup>/h est considérée comme le cœur responsable de l'alimentation des unités de production du complexe d'une manière inégale dans lequel :

- ✓ Usine de gaz industrielle (ASU) : 56 m<sup>3</sup>/h ;
- ✓ Unité de réduction directe (DRI) : 660 m<sup>3</sup>/h ;
- ✓ Trois laminoirs (RM) : 330 m<sup>3</sup>/h ;
- ✓ Deux aciéries électriques (SMS) : 330 m<sup>3</sup>/h.
- ✓ Production de l'eau potable : 5 m<sup>3</sup>/h.

Le schéma ci-dessous présente la ligne de procédés de production d'eau d'appoint et d'eau potable :



*Figure I.12 : Présente de la ligne de procédés de production d'eau d'appoint et d'eau potable.*



La ligne de traitement proposée comporte (l'annexe IV) les étapes suivantes :

A l'entrée, l'eau brute est mélangée avec le permanganate de potassium qui joue le rôle d'un oxydant de fer.

Ensuite, l'eau passe à travers une vanne à la chambre de coagulation où elle est mélangée au désinfectant hypochlorite à 13% qui sert à oxyder les matières organiques et le fer dans l'eau brute, au même temps le chlorure ferrique à 39% est ajouté comme coagulant, entraînant la déstabilisation des colloïdes et donc un meilleur tassement des solides.

Après cet effluent passe dans un mélangeur, là où le poly électrolyte anionique est additionné comme flocculant par le bas avec une agitation lente pour un meilleur rendement de floculation. Ainsi, les solides peuvent s'agglomérer, et décanter facilement. Par le haut, est dosée la chaux pour réduire la dureté associée à l'alcalinité (décarbonatation).

L'eau flocculée est envoyée à deux clarificateurs lamellaires (50% 50%) avec recirculation des boues. Cette opération permet également l'épaississement des boues.

Après décantation l'eau clarifiée est rassemblée dans une chambre pour ajuster le pH à l'aide de l'acide sulfurique 38%. L'eau sera pompée vers des filtres à sable.

A ce stade du processus l'eau est utilisable industriellement, 90% de cette eau est stockée comme eau d'appoint dans le réservoir Make up, et 10% subit un traitement supplémentaire avec le charbon actif afin de la potabiliser (désinfection).



---

## **Chapitre II**

### **Matériels et Méthodes**

---

## II.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents réactifs utilisés, de l'appareillage et de méthodologie expérimentale adoptée. En premier lieu, nous avons mentionné les produits utilisés pour : l'oxydation du fer et du manganèse ; la désinfection ; la coagulation-floculation ; la décarbonatation et l'ajustement du pH. Ces produits devront permettre de juger l'efficacité du procédé de traitement étudié. Nous décrivons ensuite la méthode (jar-test), cette méthode étant le principal moyen d'évaluation des différentes variables.

## II.2. Produits et matériels

**Tableau III.1.1** : Les produits et les matériels utilisés dans ce travail.

Produits	Matériels
-Permanganate de potassium (6%) ; -Hypochlorite de sodium (13%) ; -Chlorure ferrique (39%) ; - La chaux (80%) ; -Polyélectrolyte Anionique (98%) ; - Acid sulfurique (38%) ; - Chlorure ammonium $\text{NH}_4\text{Cl}$ + Ammoniac $\text{NH}_3$ ( $\text{TH}_2$ ) ; -HCl (N/50) ; -Noire ériochrome T (0,02N) ( $\text{TH}_5$ ) ; -ETDA (0,02N) ( $\text{TH}_4$ ) ; -ETDA (0,01N) ; -Chromate de potassium (0,2N) ( $\text{CC}_1$ ) ; -Nitrate d'argent (0,02N) ( $\text{CC}_2$ ) ; -Vert de bromocrysol (99,99%) ( $\text{TA}_4$ ) ; - Patton and Reeder's (0,02N) ; -NaOH (50%) ; -Chlorine free- DPD ; -Vario ferro ;	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jar-test;</li> <li>- Balance (AS 220.R2);</li> <li>- Press-filter;</li> <li>- pH-mètre (HI 8424);</li> <li>- Conductimètre (HI8733);</li> <li>- Turbidimètre (HI 98703);</li> <li>- LOVIBOND (MD600).</li> </ul>





## II.3. Préparation des solutions

### II.3.1. Préparation automatique (au niveau de la station WTPg)

Les produits (floculant, permanganate de potassium et chaux) sous forme de poudre sont dissouts dans l'eau traitée automatiquement à l'aide d'un système de traitement au niveau de la station.

**Tableau II.2 :** Caractéristiques physico-chimiques des produits.

Nom de produits	Formule	Type	Masse molaire	Pureté	Forme
Hypochlorite de sodium	NaOCl	Désinfectant	74,44 g/mol	13%	Liquide
Permanganate de potassium	KMnO <sub>4</sub>	Oxydant	158,04 g/mol	6%	Poudre
Chlorure ferrique	FeCl <sub>3</sub>	Coagulant	162,2 g/mol	39%	Liquide
Polyélectrolyte Anionique	–	Floculant	–	98%	Poudre
Acide sulfurique	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ajustant	98,079 g/mol	38%	Liquide
Chaux	Ca(OH) <sub>2</sub>	Agent de décarbonatation	74,093 g/mol	80%	Poudre

### II.3.2. Préparation manuel (au niveau du laboratoire de la WTP)

#### 1. La détermination de la dureté

- **Principe**

Dosage de la dureté par une liqueur complexométrique, en présence d'indicateur noir ériochrome T.

- **Réactifs**

- Réactif TH<sub>5</sub> ou Indicateur noir ériochrome T ;
- Réactif TH<sub>2</sub> ou Tampon K 10 ;



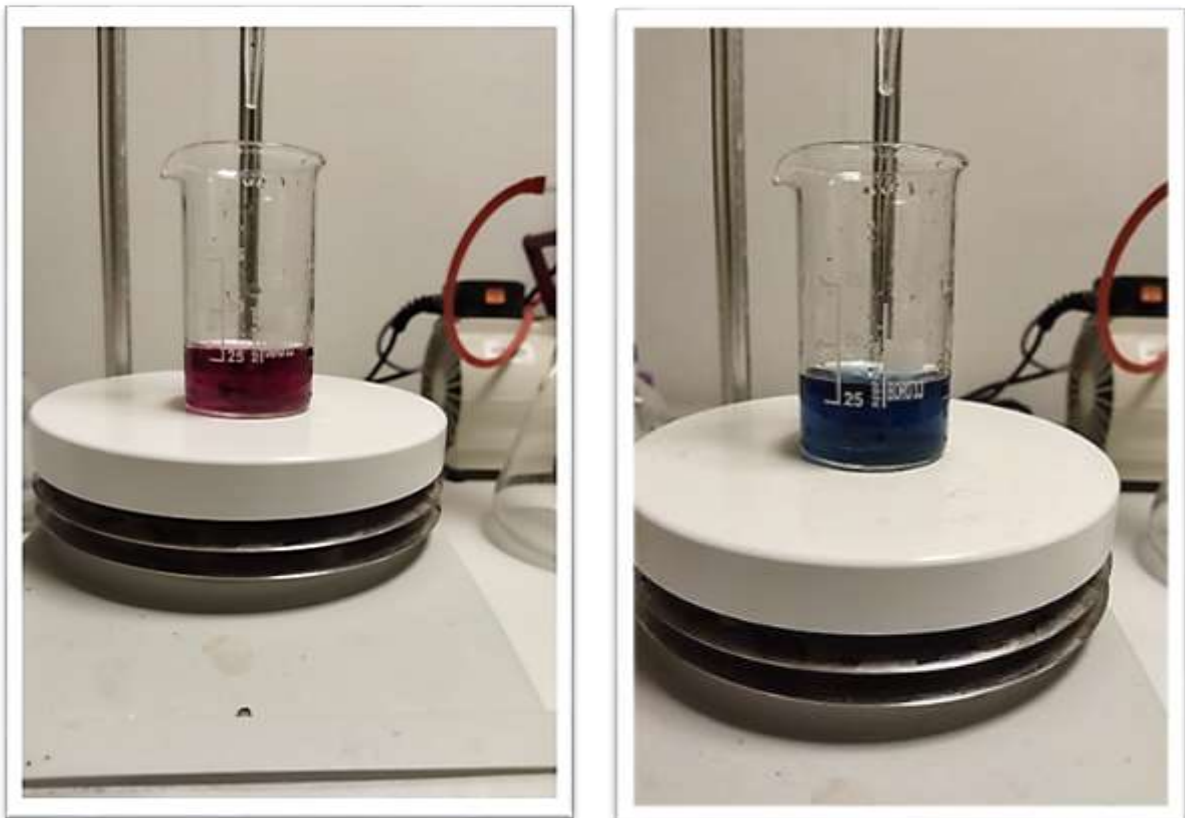
- Réactif H / TH<sub>4</sub>.
- **Matériel**
  - Un erlenmeyer de 100 ml.
- **Mode opératoire**
  - Introduire dans l'erlenmeyer 25 ml d'échantillon d'eau ;
  - Ajouter 8 gouttes de réactif TH<sub>2</sub> ;
  - Ajouter 5 gouttes de de réactif TH<sub>5</sub> ;
  - Si l'eau est violette, ajouter le réactif TH<sub>4</sub> goutte à goutte jusqu'au virage du bleu en comptant les gouttes.

**NB**

Si l'eau devient bleue, elle est adoucie. Le TH est de 0 ppm.

- **Calculs**

TH (mg/L) = nombre de gouttes de réactif TH<sub>4</sub>\*40.



*Figure II.1 : Dosage du TH.*



## 2. Dosage du $T_{Ca}$

### • Principe

Dosage de la dureté calcique par une liqueur complexométrique, en présence d'indicateur Patton and Reeder's.

### • Réactifs

- Réactifs Patton and Reeder's;
- NaOH (5ml);
- EDTA (0,01N).

### • Matériel

- Un erlenmeyer d'essai de 500 ml.

### • Mode opératoire

- Introduire dans l'erlenmeyer 100 ml d'échantillon d'eau + 300 ml d'eau distillée;
- Ajouter Patton and Reeder's petite quantité ;
- Ajouter 5 ml de NaOH ;
- Si l'eau est violette, ajouter le réactif EDTA (0,1N) goutte à goutte jusqu'au virage au bleu en comptant les gouttes.

### • Calculs

$T_{Ca}$  (mg/L) = nombre de gouttes de réactif EDTA \* 0,1002.



Figure II.2 : Dosage du  $T_{Ca}$ .

### 3. Dosage du TAC

- Principe

Dosage de l'alcalinité par une liqueur complexométrique, en présence d'indicateur vert de bromocrysol.

- Réactifs

- Réactif TA<sub>4</sub> vert de bromocrysol ;
- HCl (0,02N).

- Matériel

- Un erlenmeyer d'essai de 100 ml.

- Mode opératoire

- Introduire dans l'erlenmeyer 100 ml d'échantillon d'eau ;
- Ajouter 20 gouttes de réactif TA<sub>4</sub> ;
- Si l'eau est violette, ajouter le réactif HCl goutte à goutte jusqu'au virage au bleu en comptant les gouttes.

- Calculs

TAC (mg/L) = nombre de gouttes de réactif HCl\*10.

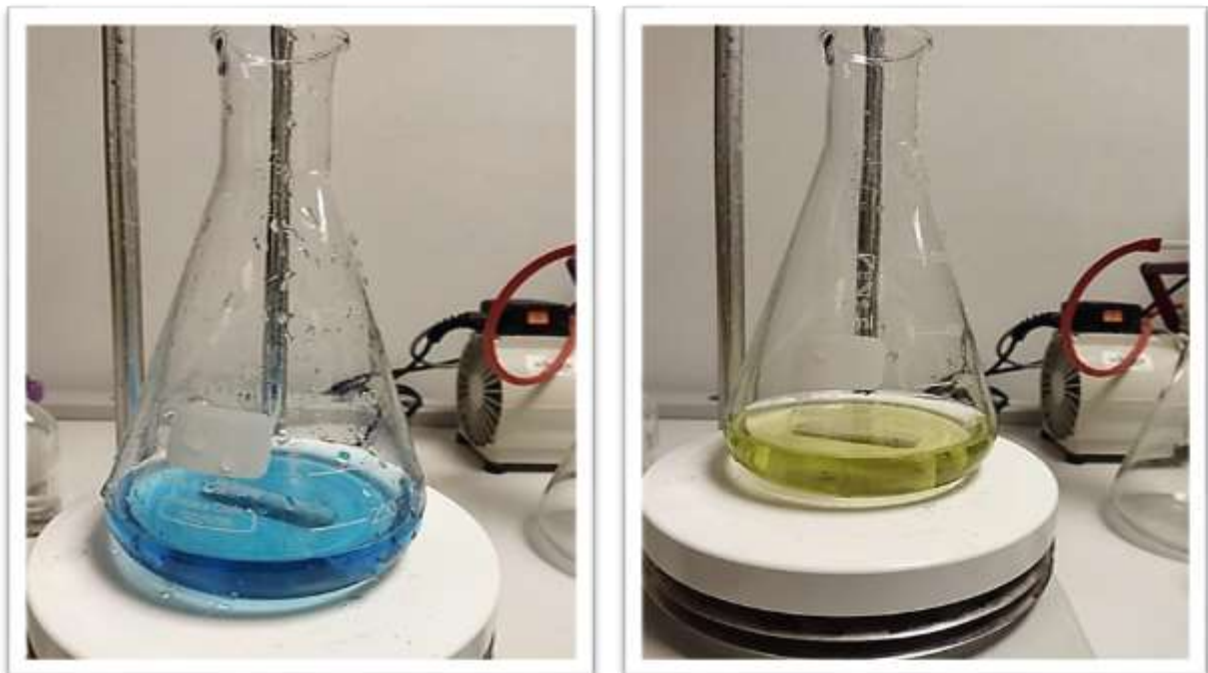


Figure II.3 : Dosage du TAC.

#### 4. Dosage de chlorure

- **Principe**

Dosage du chlore par une liqueur complexométrique, en présence d'indicateur chromate de potassium.

- **Réactifs**

- Réactif CC<sub>1</sub> chromate de potassium (0,2N) ;
- Réactif CC<sub>2</sub> nitrate d'argent ;

- **Matériel**

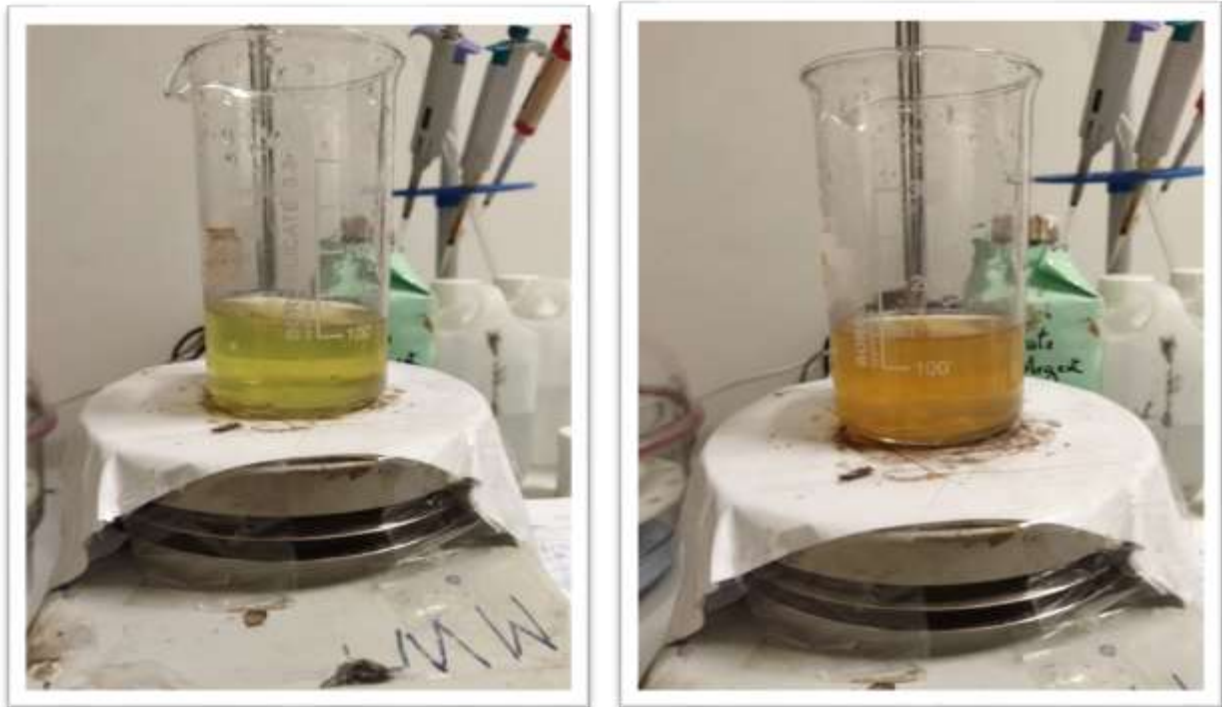
- Un erlenmeyer d'essai de 250 ml.

- **Mode opératoire**

- Introduire dans l'erlenmeyer 100 ml d'échantillon d'eau ;
- Ajouter 20 gouttes de réactif CC<sub>1</sub> ;
- Si l'eau est jaune, ajouter le réactif CC<sub>2</sub> goutte à goutte jusqu'au virage au marron en comptant les gouttes.

- **Calculs**

Chlorure (mg/L) = nombre de gouttes de réactif CC<sub>2</sub>\*7,1.



*Figure II.4 : Dosage de chlorure.*

## II.4. Méthodes analytiques

### II.4.1. Détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau brute (raw water)

Les méthodes de dosages utilisées sont pour :

#### a. Température

Elle est mesurée directement et simultanément avec le pH à l'aide d'un pH-mètre. Les résultats sont exprimés en °C ;

#### b. pH

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de type (HI 8424) avant chaque essai ;



*Figure II.5 : pH-mètre.*

#### c. Conductivité

Elle est mesurée au moyen d'un conductimètre électrique de type (HI8733) donnant des mesures en  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ;



*Figure II.6 : Conductimètre.*



**c. Turbidité**

Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type (HI 98703). Les résultats sont exprimés en NTU ;



*Figure II.7 : Turbidimètre.*

**d. Autres paramètres**

- Les nitrates, silice, sulfate, chlore libre et le fer sont mesurés par les méthodes 265, 352, 110, 222 respectivement à l'aide d'un LOVIBOND de type (MD600) donnant des mesures en mg/L (**Annexe II**) ;
- TH, T<sub>Ca</sub>, TAC et Chlorure (Cl<sup>-</sup>) sont mesurés par la méthode complexométrique en présence d'inducteur coloré. Les résultats sont exprimés en mg/L CaCO<sub>3</sub>.



*Figure II.8 : LOVIBOND de type (MD600).*



## II.5. Essais de Jar-test

Les essais de Jar-test ont été réalisés sur un flocculateurs à 4 agitateurs avec une vitesse de rotation individuelle entre 0 et 200 tr/min. cet appareil permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de béchers remplis chacun avec de l'eau.

Cette manière de procéder permet de déterminer :

- Les effets des produits, individuellement et en combinaison, sur les eaux qui sont examinées ;
- Les doses approximatives de produits chimiques ;
- Les effets de différentes vitesses d'agitation ;

L'efficacité des différents réactifs a été testée de manière sélective, d'abord chaque réactif (additif) seul, puis en combinaison afin d'évaluer l'influence des uns sur les autres et ainsi de suite jusqu'à la fin du procédé dans une tentative d'optimisation des dosages.



*Figure II.9 : Essais de Jar-test.*

### II.5.1. Essai d'oxydation de fer Jar-test

L'eau brute et le permanganate de potassium sont soumis pendant 3 min avec agitation rapide de 160 tr/min, ensuite l'eau est filtrée et la teneur en fer est effectuée.



### **II.5.2. Essai de coagulation-floculation Jar-test**

L'essai de jar-test a été effectué sur une eau brute de la station de WTPg, que nous sommes neutralisées par le chlorure ferrique (6 min), puis à vitesse réduite (20tr/min) pendant 6 min en ajoutant le polyélectrolyte anionique (pour un meilleur rendement de floculation). Après la décantation (18 min), nous avons prélevé une certaine quantité d'eau tout en évitant une éventuelle remise en suspension du floc, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

### **II.5.3. Essai de la décarbonatation par la chaux Jar-test**

- **Sans filtration**

L'essai de jar-test a été effectué sur une eau brute de la station de WTPg, L'eau brute et la chaux sont soumises pendant 11 min à une agitation lente 20 tr/min. Après la décantation de 18 min, nous avons prélevé une certaine quantité d'eau et déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

- **Avec filtration**

L'essai de jar-test a été effectué sur une eau brute de la station de WTPg, L'eau brute et la chaux sont soumises pendant 11 min à une agitation lente 20 tr/min. Après la décantation de 18 min, nous sommes filtrés l'eau traitée et nous avons prélevé une certaine quantité d'eau et déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

### **II.5.4. Essai de coagulation-décarbonatation Jar-test**

L'eau brute et le chlorure ferrique sont soumis pendant 6 min à une agitation rapide 160 tr/min la vitesse est par la suite réduite à 20 tr/min (vitesse de formation des floes et leur taux de grossissement), puis nous avons ajouté la chaux pour une durée de 11 min. Après la décantation de 18 min nous avons filtré l'eau, à la fin prélevé une certaine quantité d'eau et déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

### **II.5.5. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation Jar-test**

L'eau brute et le chlorure ferrique sont soumis pendant 6 min à une agitation rapide 160 tr/min la vitesse est par la suite réduite à 20 tr/min (vitesse de formation des floes et leur taux de grossissement), puis nous avons ajouté le polyélectrolyte anionique et la chaux pour une



durée de 11 min. Après la décantation de 18 min nous avons filtré l'eau, à la fin prélevé une certaine quantité d'eau et déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

### II.5.6. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation-recirculation de boue Jar-test

L'eau brute et le chlorure ferrique sont soumis pendant 6 min à une agitation rapide 160 tr/min la vitesse est par suite réduite à 20 tr/min (vitesse de formation des floccs et leur taux de grossissement), puis nous avons ajouté le polyélectrolyte anionique, la chaux et un pourcentage de la boue respectivement pour une durée de 11 min. Après la décantation de 18 min nous avons filtré l'eau, à la fin prélevé une certaine quantité d'eau et déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

### II.5.7. Essai du processus de station de WTPg Jar-test

L'essai de jar-test a été effectué sur une eau brute de la station de WTPg, l'eau brute est mélangée avec le permanganate de potassium. Ensuite, nous avons ajouté l'hypochlorite et le chlorure ferrique soumis pendant 6 min à une agitation rapide 160 tr/min la vitesse est par suite réduite à 20 tr/min). Puis nous avons ajouté le polyélectrolyte anionique, la chaux et un pourcentage de la boue respectivement pour une durée de 11 min. Après la décantation de 18 min nous avons filtré l'eau et ajusté le pH à l'aide de l'acide sulfurique. Enfin, nous avons prélevé une certaine quantité d'eau et déterminé les divers paramètres les plus influencés par cette étape.

## VI. Caractéristiques des eaux brutes de la station WTPg

**Tableau II.3 :** Echantillon l'eau de la station de WTPg (prélèvement du 28-04-2021).

Paramètres	Unité	Résultats		Spécification
		L'eau brute	L'eau traitée	
pH	/	7,63	8,88	7 à 9
Conductivité	µs/cm	462	365	462
Turbidité	NTU	6,37	3,95	<2
TH	mg/L CaCO <sub>3</sub>	160	108	160
T <sub>Ca</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	108,21	62,12	120

TAC	mg/L CaCO <sub>3</sub>	124	27	35
Chlorure	mg/L	41,53	61,77	60
Sulfate	mg/L	50,40	58,20	130
Silice	mg/L	5,00	3,00	10
Fer	mg/L	0,21	0,11	<0,1
Chlore libre	mg/L	/	0,00	/
TDS	mg/L	6,96	0.36	<1



---

## **Chapitre III**

### **Résultats et Discussions**

---

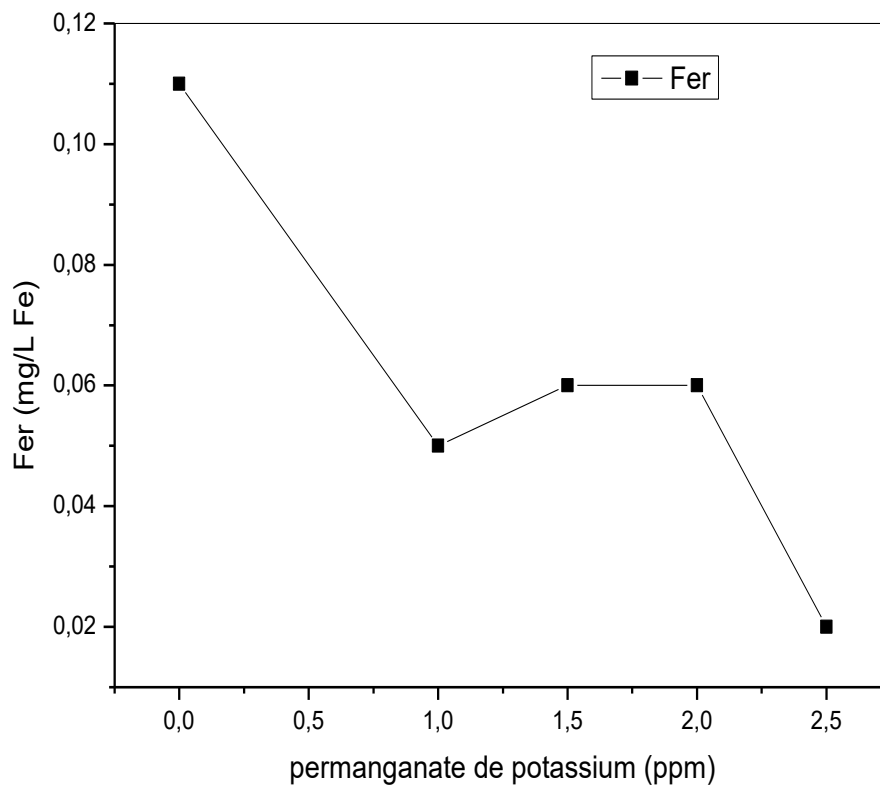
### III.1. Introduction

Une fois les différents essais réalisés, les résultats obtenus ainsi que leurs discussions seront présentés dans ce chapitre.

### III.2. Résultats et discussion

#### III.2.1. Essai d'oxydation de fer Jar-test

Les doses injectées de permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) ont influencé la concentration de fer dans l'eau brute où le  $\text{KMnO}_4$  oxyde le fer selon la réaction (1) [11] :

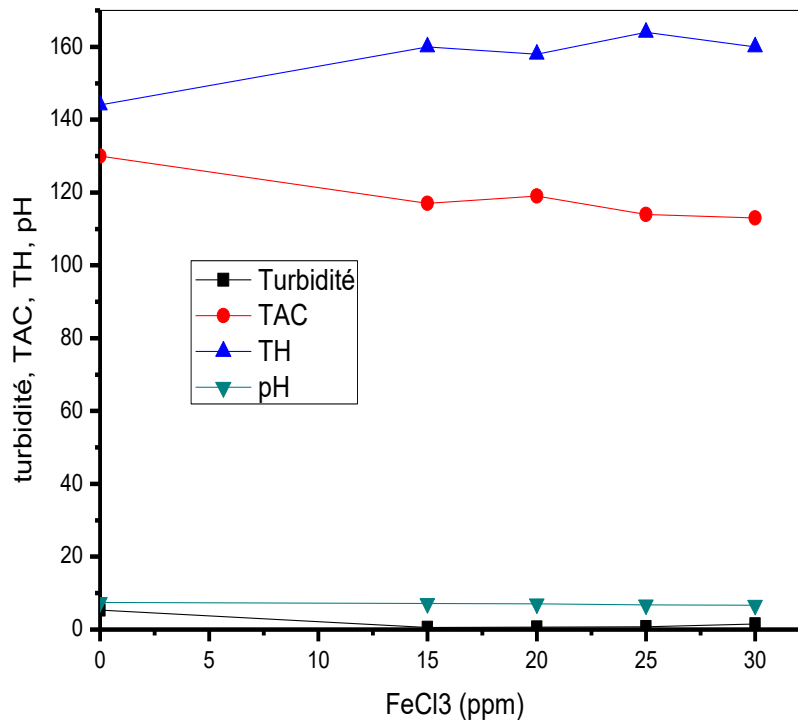


**Figure III.1 : Variation de fer en fonction de la dose du permanganate de potassium.**

D'après les résultats illustrés dans le Figure III.01, on voit que le  $\text{KMnO}_4$  a joué son rôle dans la diminution de la concentration de fer. Dans notre cas la valeur de la concentration de

fer dans les eaux brutes est inférieure à la valeur minimale admise. Ceci nous amène à dire que le traitement dans ce cas-là au permanganate de potassium est superflu.

### III.2.2. Essai de coagulation-floculation Jar-test



**Figure III.2 : Variation de la turbidité, TAC, TH, pH en fonction de la dose du chlorure ferrique.**

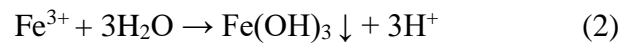
Le Jar-test a été effectué dans les mêmes conditions opératoires (pH=7,40) les résultats sont les suivants :

Le meilleur abattement de la turbidité (0,61 NTU) est obtenu pour une concentration de 15 ppm de chlorure ferrique (**figure III.02**).

A partir des résultats on remarque que le pH et l'alcalinité (TAC) diminue avec l'augmentation de la dose de chlorure ferrique par contre le titre hydrométrique (TH) augmente (**figure III.02**) ;

Le TAC baisse du fait que lors de l'utilisation du chlorure ferrique, chaque ( $\text{Fe}^{3+}$ ) nécessite pour passer à l'état  $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3(\text{OH}^-)$  provenant des bicarbonates et de l'eau elle-

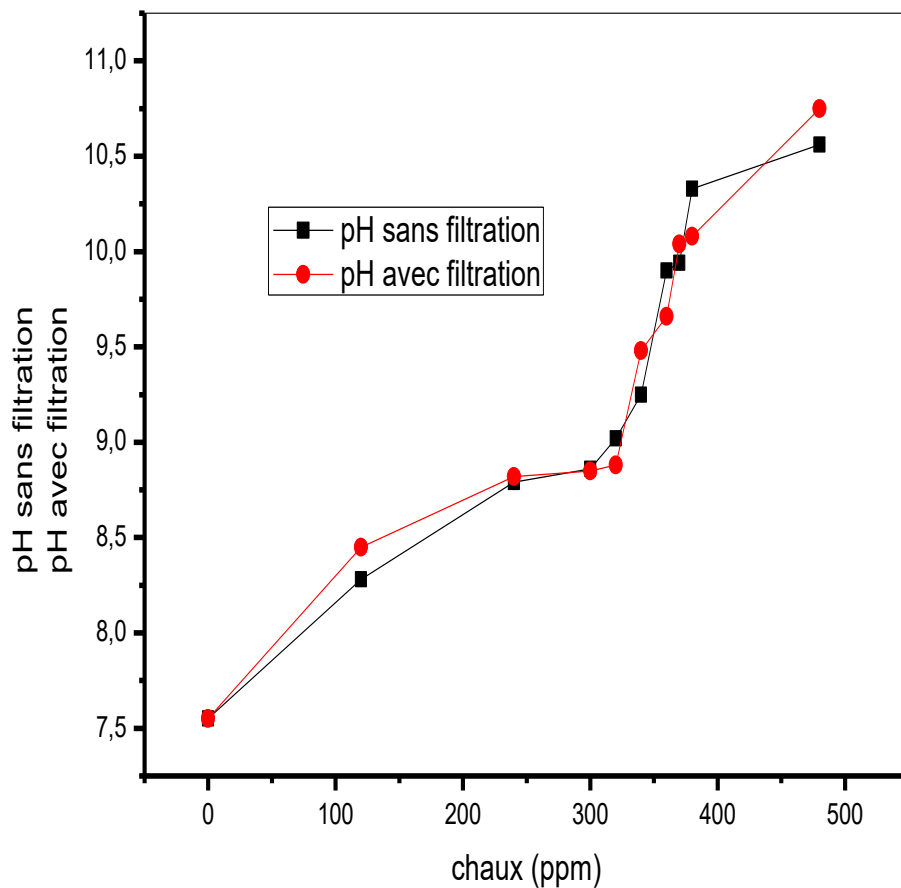
même, des protons ( $H^+$ ) sont libérés et le pH s'abaisse donc également d'après, la réaction (2) [16]:



La figure III.02 montre une diminution de turbidité à la concentration du coagulant de 15 mg/L (dose optimale) ; au-delà de laquelle, on observe une augmentation qui peut être expliquée par un effet inverse de coagulation (decoagulation).

### III.2.3. Essai de la décarbonatation par la chaux Jar-test

- Effet de la filtration sur le pH

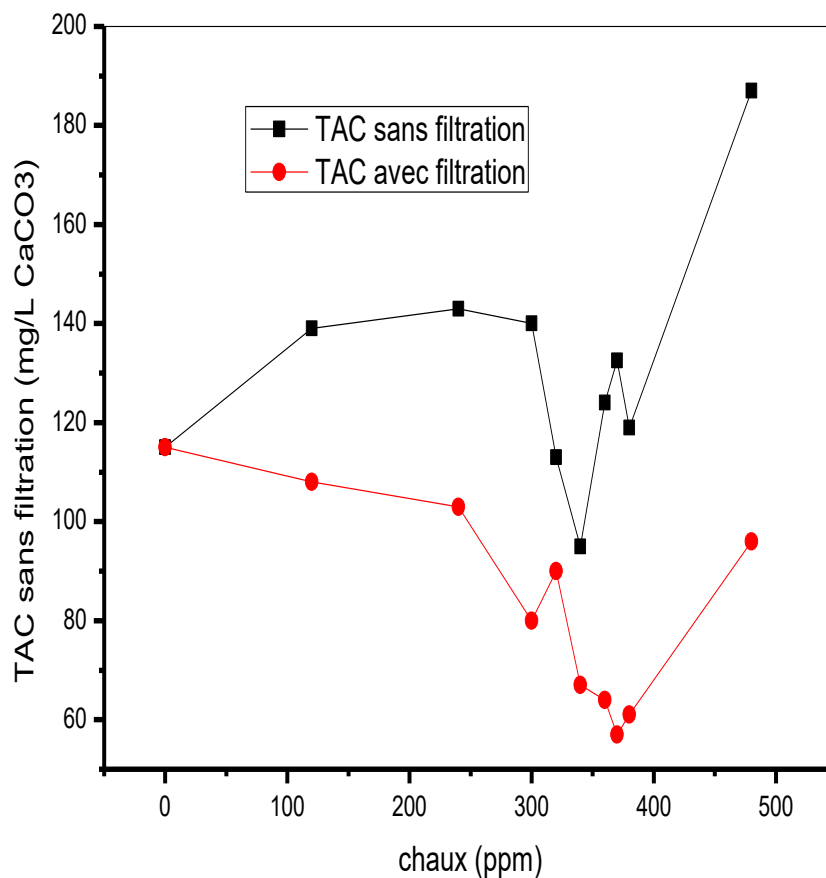


*Figure III.3: Variation de pH en fonction de la dose de la chaux.*



La figure III.03 montre l'effet de la filtration après addition de la chaux sur le pH de la solution traitée. On remarque que les courbes avec et sans filtration se confondent ceci nous pousse à dire que la filtration n'influe pas sur le pH. On remarque également que le pH augmente avec l'augmentation de la concentration de la chaux, ceci étant attribué au fait que la chaux soit une base dont l'ajout augmente automatiquement le pH.

- **Effet de la filtration sur le TAC**

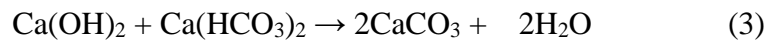


*Figure III.4: Variation de TAC en fonction de la dose de la chaux.*

La figure III.04 illustre la variation du TAC avec la concentration de la chaux ainsi que l'effet de la filtration sur le TAC. On remarque sur les deux courbes de TAC diminue jusqu'à une valeur optimale (57 mg/L CaCO<sub>3</sub>) à la concentration de chaux de 370 mg/L puis augmente. Ce veut dire que la chaux a rempli son rôle illustré par la réaction (3) [17].







On remarque également que la filtration a eu un effet notable sur le TAC, ceci peut être attribué au fait qu'il y a de la chaux en excès n'ayant pas été décanté à cause de l'absence de boue.

- Effet de la filtration sur le TH

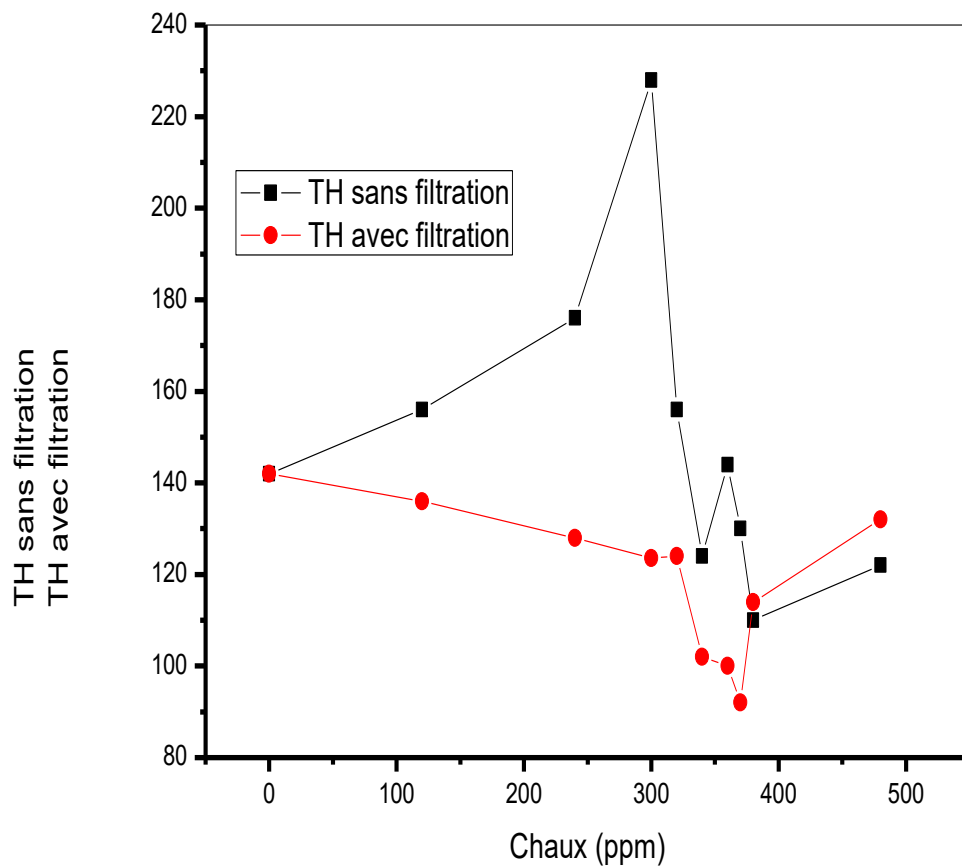
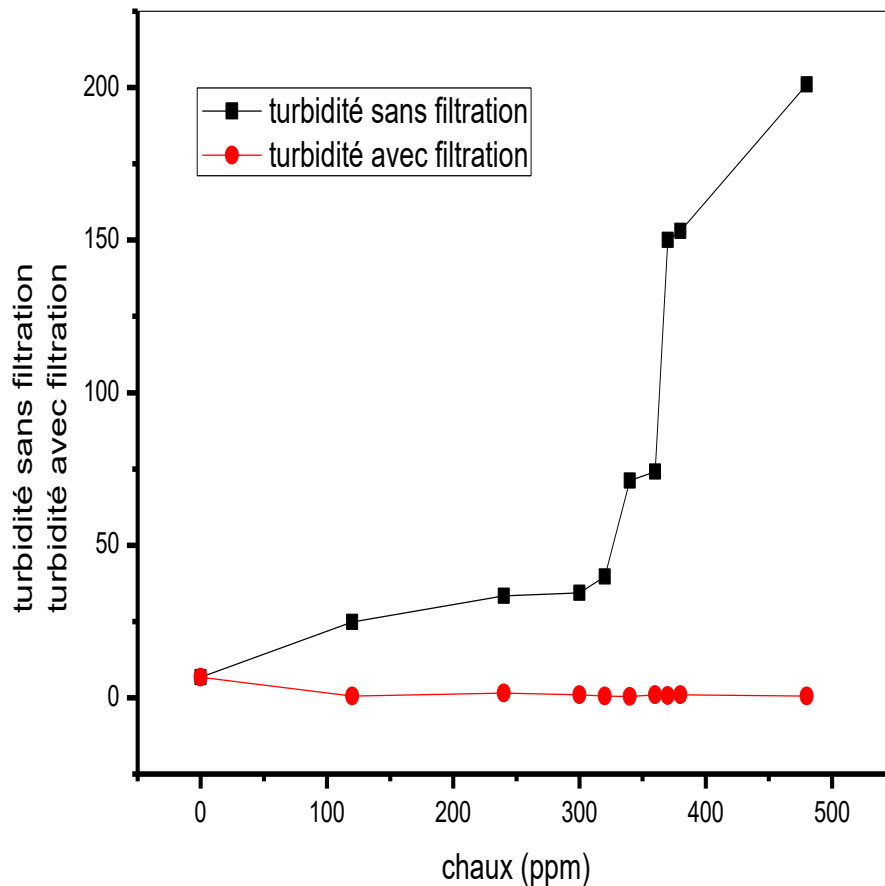


Figure III.5: Variation de TH en fonction de la dose de la chaux.

La figure III.05 illustre la variation du TH avec la concentration de la chaux ainsi que l'effet de la filtration sur le TH. On remarque que le TH diminue jusqu'à un optimum (92 mg/L CaCO<sub>3</sub>) avec filtration, pour la concentration de 370 ppm en chaux (la même que celle du TAC).

Cependant, on remarque aussi que la diminution du TAC reste loin des spécifications demandées même après filtration, ceci pourrait être dû au fait que seule la dureté carbonatée a été éliminée (réaction (3)).

- **Effet de la filtration sur la turbidité**



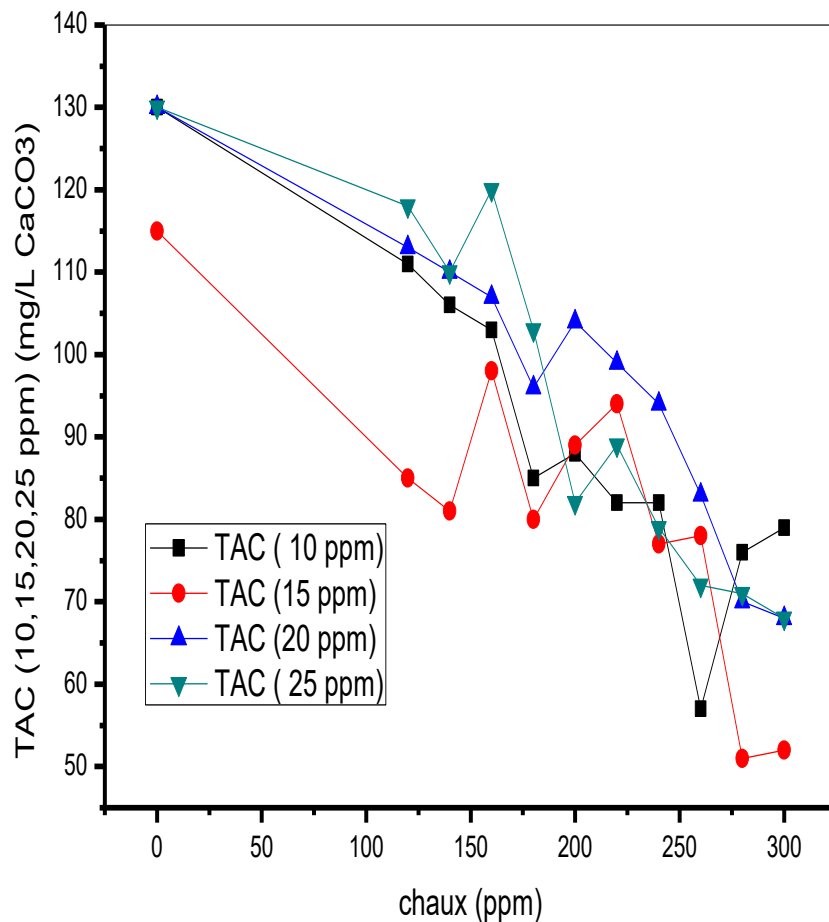
**Figure III.6: Variation de turbidité en fonction de la dose de la chaux.**

On remarque d’après le graphe illustré sur la figure III.06 que la filtration diminue nettement la turbidité ce qui est un phénomène tout à fait normal.



### III.2.4. Essai de coagulation-décarbonatation Jar-test

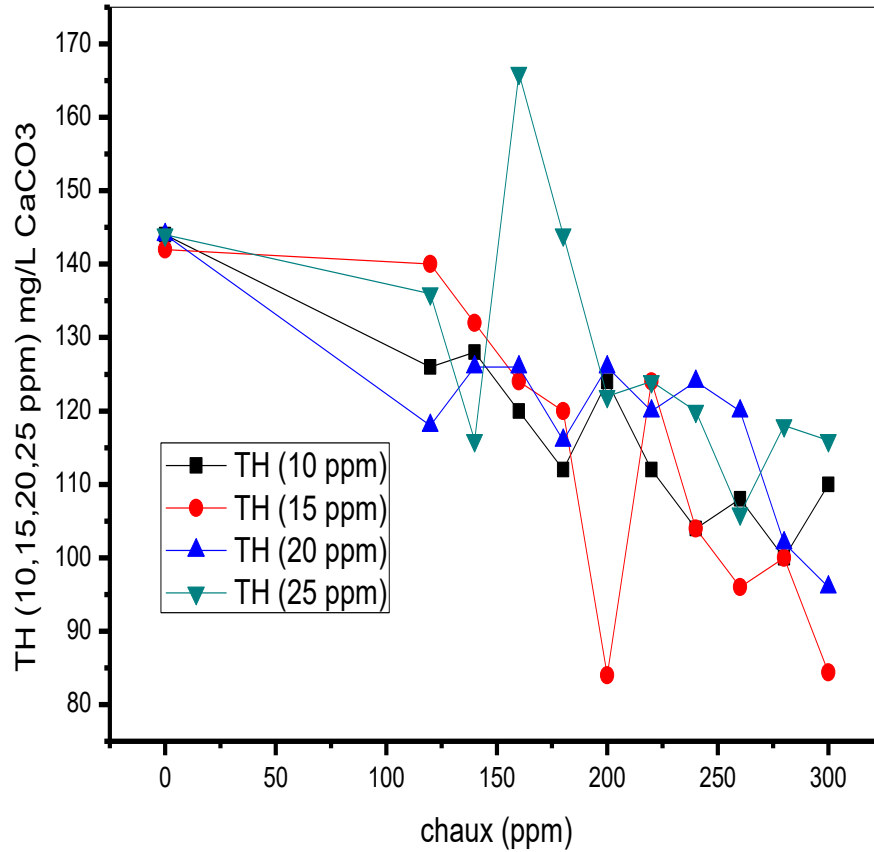
- Effet de la dose de coagulant + chaux sur le TAC



**Figure III.7: Variation de différents TAC en fonction de la dose de la chaux.**

La figure III.07 montre l'effet de l'association de différentes doses de coagulants (10, 15, 20 et 25 mg/L) à l'augmentation de la dose de chaux dans les eaux à traiter sur le TAC. L'ajout de doses de coagulant a contribué de manière significative à l'abaissement du TAC : 51 mg/L  $\text{CaCO}_3$  à 280 mg/L de chaux associée à 15 ppm de coagulant contre 57 mg/L  $\text{CaCO}_3$  à 370 mg/L de chaux seule. Ce qui peut être expliqué par l'action synergique du coagulant avec la chaux.

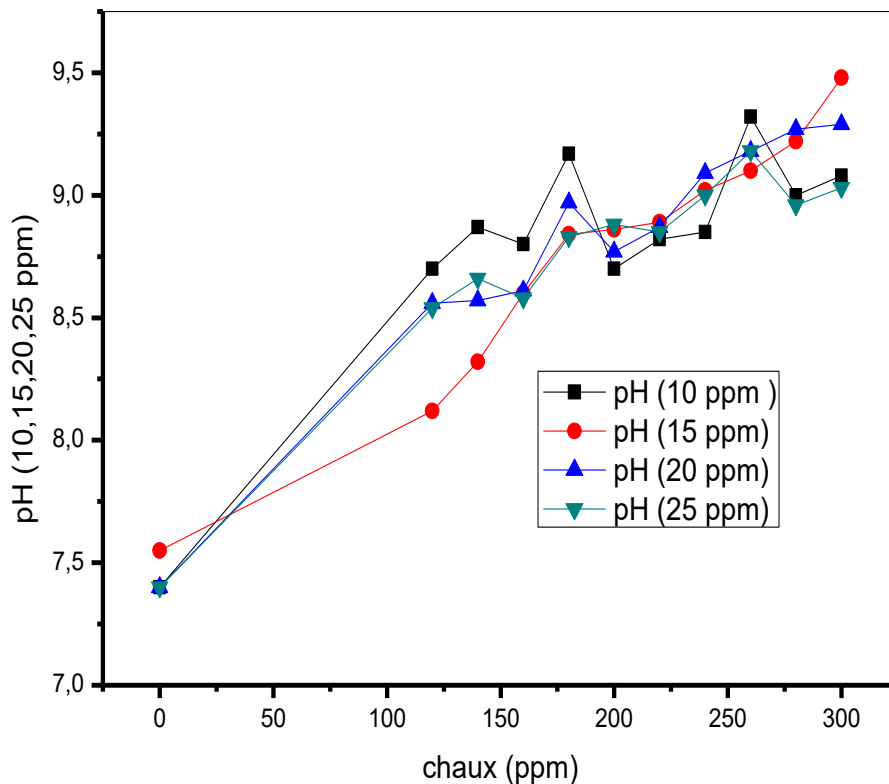
- Effet de la dose de coagulant + chaux sur le TH



*Figure III.8: Variation de différents TH en fonction de la dose de la chaux.*

La figure III.08 montre l'effet de l'association de différentes doses de coagulants (10, 15, 20 et 25 mg/L) à l'augmentation de la dose de chaux dans les eaux à traiter sur le TH. L'ajout de doses de coagulant a contribué à l'abaissement du TH : 84 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 200 mg/L de chaux associée à 15 mg/L de coagulant contre 92 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 370 mg/L de chaux seule. Ce qui peut être expliqué par l'action synergique du coagulant avec la chaux.

- Effet de la dose de coagulant + chaux sur le pH



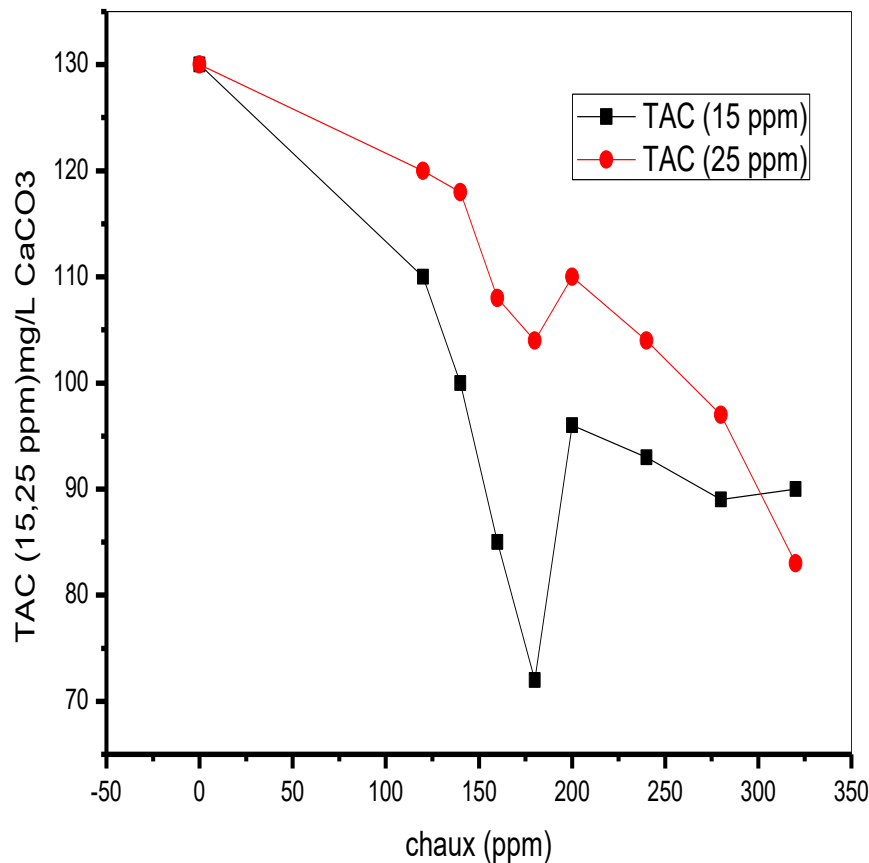
**Figure III.9:** Variation de différents pH en fonction de la dose de la chaux.

La figure III.09 montre l'effet de l'association de différentes doses de coagulants (10, 15, 20 et 25 mg/L) à l'augmentation de la dose de chaux dans les eaux à traiter. On remarque que l'augmentation de la dose de chaux augmente le pH des eaux à traiter d'un pH voisin de 7 à un pH voisin de 9. Cette augmentation est principalement due à la basicité de la chaux, la dose de coagulant n'ayant pas d'effet significatif sur ce paramètre.

Selon les figures III.07, III.08 et III.09, on peut dire que l'augmentation de la concentration de la chaux avec une dose de coagulant de 15 mg/L a augmenté le pH (effet de la basicité de la chaux) tout en diminuant la dose optimale de chaux de 370 mg/L à 280 mg/L pour le TAC et 200 mg/L pour le TH. On peut donc conclure que 15 mg/L de coagulant est la dose qui donne un effet synergique entre la chaux et le coagulant.

### III.2.5. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation Jar-test

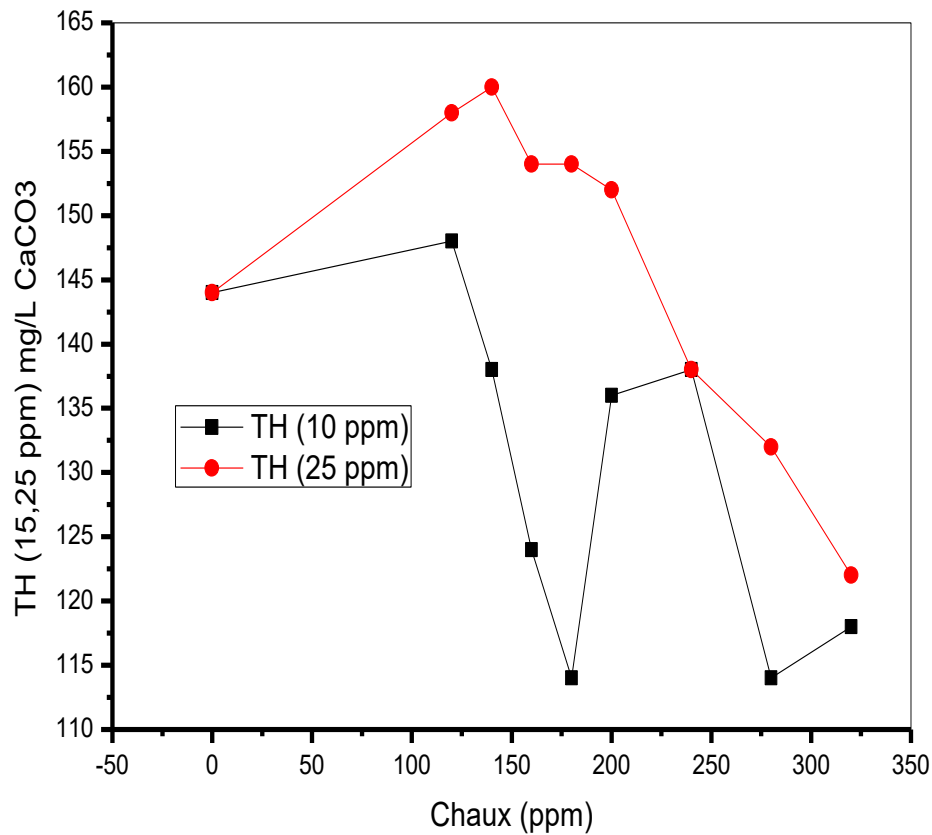
- Effet sur le TAC



**Figure III.10: Variation de différents TAC en fonction de la dose de la chaux.**

La figure III.10 montre l'effet de l'association de différentes doses de coagulants (15, 25 mg/L) et la dose de floculant 0,4 mg/L à l'augmentation de la dose de chaux dans les eaux à traiter sur le TAC. L'ajout de doses de coagulant et floculant ont contribué de manière significative à l'abaissement du TAC : 72 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 180 mg/L de chaux associée à 15 mg/L de coagulant contre 83 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 320 mg/L de chaux associée à 25 mg/L.

- Effet sur le TH

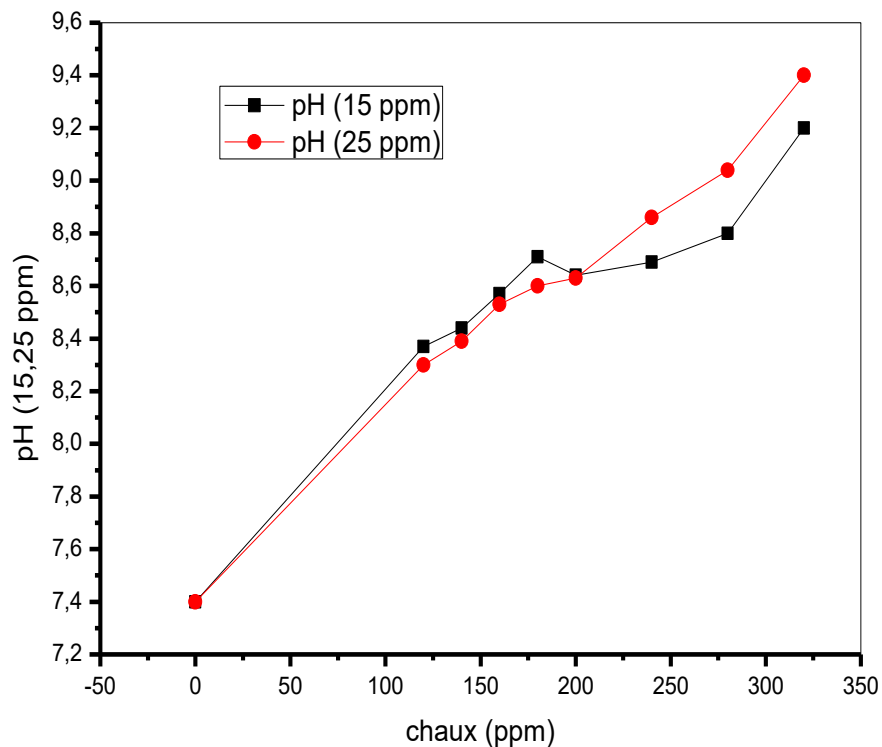


*Figure III.11 : Variation de différents TH en fonction de la dose de la chaux.*

La figure III.11 montre l'effet de l'association de différentes doses de coagulants (15, 25 mg/L) et la doses de flocculant 0,4 mg/L à l'augmentation de la dose de chaux dans les eaux à traiter sur le TH. L'ajout de doses de coagulant a contribué à l'abaissement du TH : 114 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 180 ppm de chaux associée à 15 ppm de coagulant contre 122 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 320 mg/L de chaux associée à 25 mg/L.



- Effet sur le pH



**Figure III.12: Variation de différents pH en fonction de la dose de la chaux.**

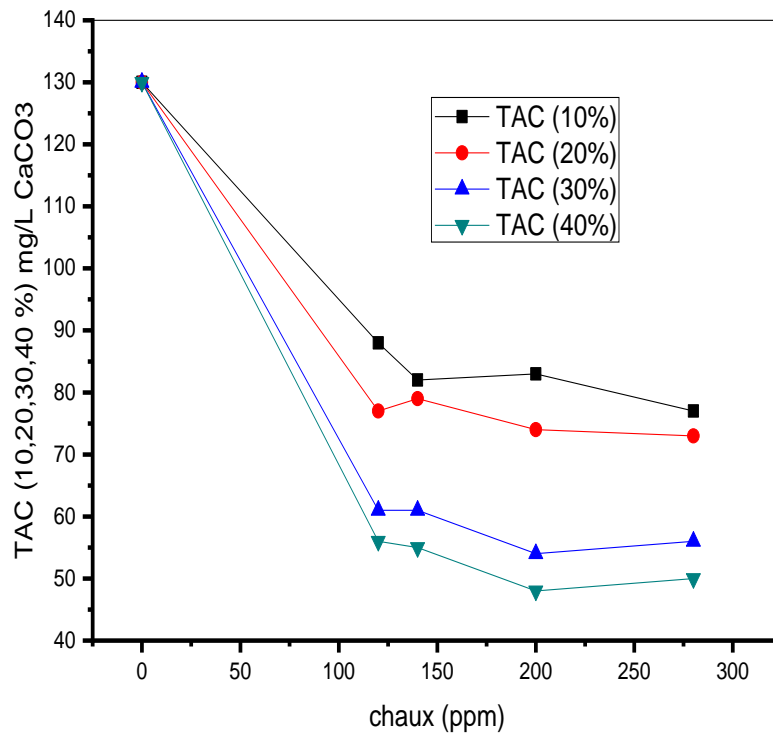
La figure III.12 montre l'effet de l'association de deux doses de coagulants (15, 25 mg/L) et la dose de flocculant 0,4 mg/L à l'augmentation de la dose de chaux dans les eaux à traiter. On remarque que l'augmentation de la dose de chaux augmente le pH des eaux à traiter d'un pH voisin de 7 à un pH voisin de 9. Cette augmentation est principalement due à la basicité de la chaux.

### III.2.6. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation-recirculation de boue Jar-test

Une fois les conditions optimales des doses de coagulant établies, à savoir 15 mg/L, et n'ayant pas encore atteint les normes. Nous avons étudié l'effet de la recirculation des boues sur le TAC et le TH associée à ces deux doses de coagulant.



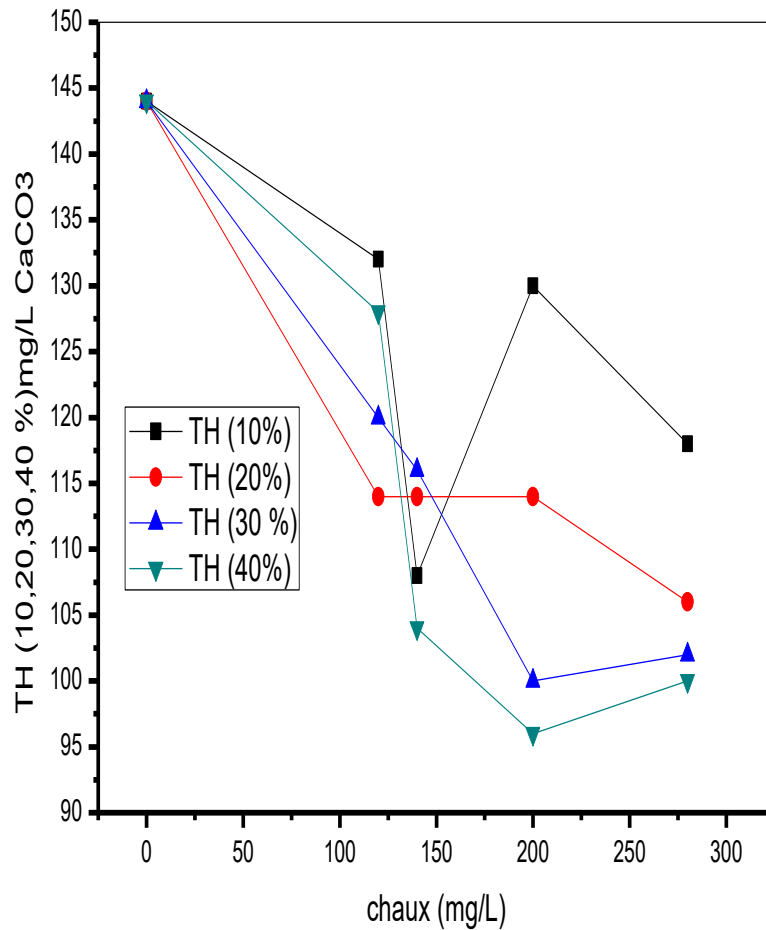
- Effet sur TAC



**Figure III.13: Variation de différents TAC en fonction de la dose de la chaux.**

La figure III.13 montre la variation du TAC en fonction de la concentration de la chaux associée à 15 ppm de coagulant à différents pourcentages de recirculation de boues (10, 20, 30 et 40%). On remarque que le TAC diminue de manière significative avec l'augmentation du pourcentage de recirculation de la boue jusqu'à 40%, le TAC chute brutalement de 130 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 55 mg/L CaCO<sub>3</sub> à 160 mg/L de chaux (à 40 % de recirculation de boue par exemple), après la variation est peu importante (les quatre courbes suivent la même allure aux mêmes concentrations de chaux). Ce phénomène peut être attribué au fait que la réaction de la chaux sur une eau soit extrêmement lente en l'absence de germes de cristallisation, ces germes étant présents dans les boues en améliore l'action. Cette action étant également améliorée par l'augmentation du pH qui a atteint une valeur voisine de 10.

- Effet sur TH



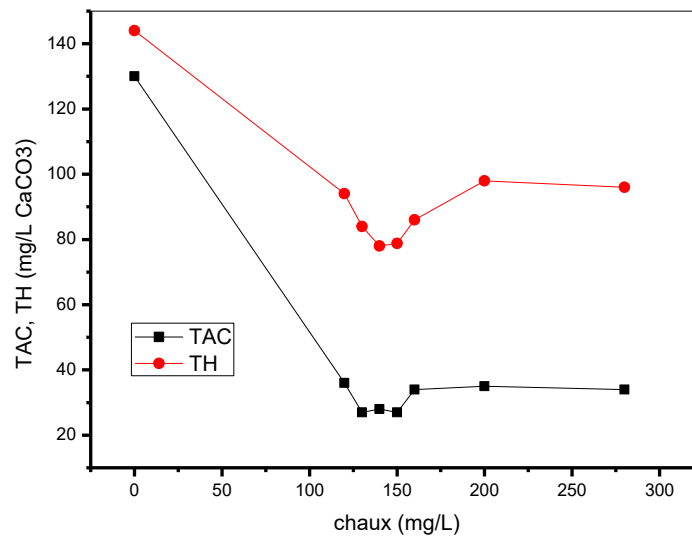
*Figure III.14: Variation de différents TH en fonction de la dose de la chaux.*

La figure III.14 montre la variation du TH en fonction de la concentration de la chaux associée à 15 ppm de coagulant à différents pourcentages de recirculation de boues (10, 20, 30 et 40%). On remarque que le TH se comporte de la même manière que le TAC avec un optimum à 40% de recirculation de la boue, cet optimum donne un TH de 96 mg/L CaCO<sub>3</sub> largement inférieure à la norme maximale admise.



### III.2.07. Essai du procédé de station de WTPg Jar-test

Une fois les conditions optimales des doses de chaux, de coagulant et de recirculation de boues établies, un essai sur les eaux de procédé de la station WTPg a été réalisé avec addition de permanganate de potassium.



*Figure III.15: Variation TAC, TH en fonction de la dose de la chaux.*

Les résultats illustrés sur la figure III.15 montrent que le TAC et le TH diminuent avec l'augmentation de la dose de chaux jusqu'à une dose optimale de 130 mg/L de chaux. Ces valeurs obtenues sont en dessous de celles exigées par les normes. Au-delà on remarque une légère augmentation des deux facteurs (TAC et TH), suivie d'une stabilisation à des valeurs obéissant toujours aux spécifications. L'ajout du permanganate de potassium ayant contribué à la diminution du TAC en consommant 1,5 mg/L CaCO<sub>3</sub> de TAC par l'oxydation de 1 mg/L de fer [10].

Ainsi pour conclure notre étude nous avons permis d'optimiser les doses de chaux dans le procédé en les baissant de 160 à 130 mg/L et 25 à 15 mg/L de coagulant.

---

## **Conclusion générale**

---

## Conclusion générale

Ce travail a pour but d'étudier d'une part l'optimisation des dosages des réactifs : Oxydant, coagulant, floculant, hypochlorite, chaux, boue recirculée et acide influençant les traitements des eaux : oxydation, coagulation, floculation, décarbonatation et recirculation de boue destinés aux unités de production de l'acier de l'AQS.

A la lumière des résultats obtenus et présenté dans ce manuscrit, nous pouvons conclure que :

- ✓ Le permanganate de potassium a joué son rôle dans la diminution de la contenance en fer ;
- ✓ Le pH et le titre hydrotimétrique (TH) augmentent, tandis que l'alcalinité (TAC) diminue avec l'augmentation de la dose de chlorure ferrique et celle du floculant jusqu'à une valeur optimale ;
- ✓ L'addition de chaux augmente le pH et diminue par conséquent le TH et le TAC ;
- ✓ Le pH n'est pas influencé par la filtration, alors que le TH et le TAC diminuent ;
- ✓ La filtration diminue nettement la turbidité ;
- ✓ La combinaison du coagulant avec la chaux eu un effet synergique en diminuant le TH et le TAC ;
- ✓ L'association de la recirculation de boue à la chaux et au coagulant a eu un effet très notable sur le TH et le TAC et nous a permis de descendre en dessous du seuil minimum admis par la norme ;

Au final, les différents additifs utilisés pour le traitement des eaux de process, dont le permanganate de potassium (oxydation du fer), l'hypochlorite de sodium (désinfection) et l'acide (ajustement du pH) associé à la chaux, au coagulant, au floculant, à la filtration et à la recirculation de boue ont tous contribué à la diminution du TH et du TAC en dessous des exigences et ce à des doses inférieures à celles imposées par le constructeur.

**Perspectives et recommandations :**

- ✓ Etudier l'influence des dosages optimaux obtenus dans cette étude sur d'autres paramètres tels que le chlore libre, les sulfate... ;
- ✓ Etudier en détail la composition de la boue afin d'élucider le phénomène affectant le TH et le TAC ;
- ✓ Etudier l'effet de différents additifs de traitement des eaux tel que le sulfate d'aluminium...



---

## Références

---

## Références

[1] M BELHADJ. *Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, 2017.

[2] <https://www.google.dz>

[3] BOEGLIN, Jean-Claude. *Propriétés des eaux naturelles*. Ed. Techniques Ingénieur, 2001.

[4] H BEN CHEHBA et al. *Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources dans les localités de Miliana (Aïn Defla) et Ain Deheb (Tiaret)*. Mémoire de master, Université Abdelhamid ben Badis-Mostaganem, 2017.

[5] <https://www.mplux.be/pecher/l-eau/le-cycle-de-l-eau-en-6-etapes>

[6] MOUCHET, Pierre. Treatment of waters before use. Processes and applications ; Traitement des eaux avant utilisation. Filières et applications. *Techniques de l'ingénieur. Environnement*, 2006,1.

[7] <https://cpepesc.org/6-nature-et-pollutions/2-eaux-et-milieux-aquatiques-sources-de-pollutions-et-atteintes/2-qualite-des-eaux-pollutions-etat-des-cours-deau/2-bonne-qualite-ou-pollution-des-eaux/parametres-physiques-et-chimiques-de-leau-indicateurs-des-pollutions/les-differents-parametres-physiques-et-chimiques-des-eaux-et-commentaires/>

[8] MOUCHET, Pierre. Treatment of waters before use. Processes and applications ; Traitement des eaux avant utilisation. Filières et applications. *Techniques de l'ingénieur. Environnement*, 2006,1.

[9] MOUCHET, Pierre. *Traitement des eaux avant utilisation. Substances dissoutes*. Ed. Techniques Ingénieur, 2000.

[10] DESJARDINS, Raymond (1997). 2<sup>ème</sup> édition revue et améliorée : *Le traitement des eaux*. L'école Polytechnique de Montréal, 293 p.

[11] M ACHAK et al. Caractérisation des margines issues d'une huilerie moderne et essais de leur traitement par coagulation-floculation par la chaux et le sulfate d'aluminium. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 2008,21, no 1, 53-67 p.





- [12] D DEKKAR et al. *Optimisation Et Valorisation Des Eaux Produites Par Les Unites De Traitement Des Eaux Huileuses : Cas De La Station De Hassi R'mel*. Mémoire de master, université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 2020.
- [13] CARDOT, Claude (2007). *Les traitements de l'eau*. Ellipses, 61p.
- [14] MOUCHET, Pierre. *Traitement des eaux avant utilisation. Matières particulaires*. Ed. Techniques Ingénieur, 2000.
- [15] M Pierre. Dureté de l'eau : Adoucissement centralisé. *GWA. Gas, Wasser, Abwasser*, 2008, 88, no 4, 279-286 p.
- [16] *MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU*. (2005). L'eau et ses propriétés. 2<sup>ème</sup> Ed. Degrémont, tome 1, 193p.
- [17] LAVOISIER, (2006). *Traitement Des Eaux De Refroidissement*. LONDRES-PARIS-NEW YORK : TEC et DOC, 38 p.



---

# **Annexe**

---

**Annexe I :**

**Tableau 01 :** Echantillon l'eau de la station de WTPg (prélèvement du 09-05-2021).

Paramètres	Unité	Résultats		Spécification
		L'eau brute	L'eau traitée	
pH	/	7,54	8,18	7 à 9
Conductivité	µs/cm	455	395	462
Turbidité	NTU	6,20	0,34	<2
TH	mg/L CaCO <sub>3</sub>	178	112	160
T <sub>Ca</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	120,24	68,13	120
TAC	mg/L CaCO <sub>3</sub>	126,24	27	35
Chlorure	mg/L	37,63	64,16	60
Sulfate	mg/L	49,80	67,70	130
Silice	mg/L	5,00	3,00	10
Fer	mg/L	0,11	0,09	<0,1
Chlore libre	mg/L	/	0,01	/
TDS	mg/L	4,04	0,40	<1

**Tableau 02 :** Echantillon l'eau de la station de WTPg (prélèvement du 16-05-2021).

Paramètres	Unité	Résultats		Spécification
		L'eau brute	L'eau traitée	
pH	/	7,55	8,03	7 à 9
Conductivité	µs/cm	435	369	462
Turbidité	NTU	5,53	0,54	<2
TH	mg/L CaCO <sub>3</sub>	142	118	160
T <sub>Ca</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	105,21	55,11	120
TAC	mg/L CaCO <sub>3</sub>	115	28	35
Chlorure	mg/L	29,30	61,06	60
Sulfate	mg/L	53,01	77,00	130
Silice	mg/L	3,00	3,00	10
Fer	mg/L	0,09	0,06	<0,1

Chlore libre	mg/L	0,01	0,00	/
TDS	mg/L	0,40	0,48	<1

**Tableau 03 :** Echantillon l'eau de la station de WTPg (prélèvement du 20-05-2021).

Paramètres	Unité	Résultats		Spécification
		L'eau brute	L'eau traitée	
pH	/	7,40	7,60	7 à 9
Conductivité	µs/cm	435	374	462
Turbidité	NTU	5,53	0,26	<2
TH	mg/L CaCO <sub>3</sub>	142	106	160
T <sub>Ca</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	105,21	50,10	120
TAC	mg/L CaCO <sub>3</sub>	115	30	35
Chlorure	mg/L	29,30	59,99	60
Sulfate	mg/L	53,01	77,00	130
Silice	mg/L	5,00	3,00	10
Fer	mg/L	0,06	0,06	<0,1
Chlore libre	mg/L	/	0,02	/
TDS	mg/L	4,65	0,48	<1

## Annexe II :

### ANALYSE DES NITRATES

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 09
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	11/12/2019 – V1

#### 1) PRINCIPE

Cette méthode repose sur l'utilisation de l'acide chromotropique qui réagit avec les N et colore la solution en rose orangé.


#### 2) MATÉRIEL et/ou REACTIFS

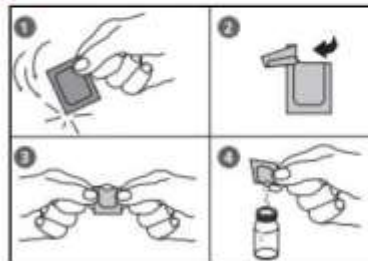
Réactif en poudre VARIO Nitrate Chromotropique  
 Cuvette de réactif A  
 Appareil LOVIBOND MD 600 (méthode 265)  
 La gamme utilisée va de 1 à 30 mg/L N.

Ref: PAN03LOVIB001

#### 3) MODE OPÉRATOIRE

##### METHODE 265 SUR LE LOVIBOND

- Mettre en place l'adaptateur pour les cuvettes circulaires de diamètre 16 mm.
- 
- Ouvrir une cuvette de réactif (réactif A) à couvercle blanc, la remplir avec 1 mL d'échantillon et bien fermer le couvercle de la cuvette.
  - Mettre la cuvette dans la chambre de mesure.
  - Appuyer sur la touche ZERO.
  - Retirer la cuvette de la chambre de mesure.
  - Ajouter le contenu d'un sachet de poudre Vario Nitrate Chromotropique directement dans la cuvette.
  - **Bien refermer la cuvette** avec le couvercle et mélanger le contenu en **agitant avec précaution** (10 fois) : *Il se peut qu'une petite quantité de matière solide ne se dissolve pas.*
  - Mettre la cuvette dans la chambre de mesure.
  - Appuyer sur la touche TEST.
  - **Attendre un temps de réaction de 5 minutes** : La mesure s'effectue automatiquement après écoulement du temps de réaction.



## ANALYSE DES NITRATES

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 09
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	11/12/2019 – V1

### 4) EXPRESSION DES RÉSULTATS

Le résultat de la mesure s'affiche sur l'appareil et indique le nitrate en mg/L.

### 5) REMARQUES

**Conversion: mg/L NO<sub>3</sub> = mg/L N x 4,43**

### 6) REGLES D'HYGIENE

 <p><b>Autres EPI selon exigences client</b></p>		 <p><b>INTERDICTION DE BOIRE OU DE MANGER</b></p>
<p>Attention aux transferts !</p>		
		

## ANALYSE DE LA SILICE

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 10
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	11/12/2019 – Version 1

### 1) PRINCIPE

La silice et les phosphates réagissent avec l'ion molybdate en milieu acide pour produire des complexes jaunes d'acide silicomolybdique et phosphomolybdique.

L'addition d'acide citrique décompose préférentiellement le complexe du phosphate.

La silice est alors déterminée en mesurant la coloration jaune restante.

### 2) MATERIEL ET/OU REACTIFS

- LOVIBOND MD600
- Verrerie de laboratoire
- Cuvettes spectrophotométrique de 10 mL
- Réactif molybdate en gélules pour silice forte (HR)
- Réactif acide en gélule pour silice forte (HR)
- Acide citrique en gélules

Référence : PASIO2MOHR010   
Référence : PASIO2ARI0001   
Référence : PASIO2AC10001 

Pour méthode Silice Gamme Haute (HR) de 0 à 100 mg/L.

### 3) MODE OPERATOIRE

Utiliser une verrerie très propre, rincée à l'eau ultrapure et bien séchée.



Sur le LOVIBOND MD600 choisir la méthode d'analyse pour la SiO<sub>2</sub> gamme HR n° 352.

- Remplir une cuvette (diamètre 24mm), parfaitement propre et sèche, avec 10 mL de la solution à analyser.
- Placer ensuite la cuvette dans la chambre de mesure et appuyer sur « ZERO ».
- Sortir la cuvette de la chambre de mesure.
- Ajouter un sachet de réactif poudre molybdate « Vario Silica HR Molybdate F10 » et agiter fortement jusqu'à dissolution complète.
- Ajouter un sachet de réactif acide « Vario Silica HR Acid Rgt » et agiter fortement jusqu'à dissolution complète : *Dans le cas de la présence de dioxyde de silicium ou de phosphate, il se formera une coloration jaune.*
- Attendre 10 minutes.
- Lorsque le minuteur sonne, ajouter un sachet d'acide citrique « Vario Silica Citric Acid F10 » et bien mélanger : *Une couleur jaune générée par le phosphate s'éliminera par cette étape de travail.*
- Introduire la cuve d'échantillon à analyser et appuyer sur " TEST "
- Attendre pendant un temps de réaction de 2 minutes.
- La mesure s'effectue automatiquement après l'expiration du temps de réaction.

## ANALYSE DE LA SILICE

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
<b>Laboratoire / F. MAURY</b>	<b>LABORATOIRE</b>	<b>IAC 10</b>
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
<b>Intranet</b>	<b>L. POUPARD</b>	<b>11/12/2019 – Version 1</b>







### 4) EXPRESSION DES RESULTATS

Le résultat s'affiche dans l'affichage, en **mg/L de dioxyde de silicium**.

### 5) REMARQUE

Substance	Perturbation
Fer	Perturbe en grandes concentrations
Phosphate	Le phosphate ne perturbe pas jusqu'à 50 mg/l PO <sub>4</sub>
	A une concentration de 60 mg/l PO <sub>4</sub> la perturbation est de - 2% environ
	A une concentration de 75 mg/l PO <sub>4</sub> la perturbation est de - 11% environ
Sulfures	Perturbent en toutes concentrations

### 6) REGLES D'HYGIENE

 <p style="text-align: center;">Autres EPI selon exigences client</p>		 <p style="text-align: center;">INTERDICTION DE BOIRE OU DE MANGER</p>
<p>Attention aux transferts !</p>		
		



## ANALYSE DU CHLORE LIBRE

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 11
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	11/12/2019 – V1

### 1) PRINCIPE

Le chlore peut être présent dans l'eau sous forme de chlore libre et sous forme de chlore combiné. Le chlore libre réagit avec le DPD (diéthyl-p-phénylène diamine) pour former une solution rouge. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration de chlore.

### 2) MATÉRIEL et/ou REACTIFS

Réactif en poudre « Chlorine FREE-DPD/F10 »  
Appareil LOVIBOND MD 600 (méthode 110)  
La gamme utilisée va de 0.02 à 2 mg/L  $Cl_2$ .

*Ref: FACHL2TSMARTO*

### 3) MODE OPÉRATOIRE

#### METHODE 110 SUR LE LOVIBOND

- Remplir une cuvette (diamètre 24mm), parfaitement propre et sèche, avec **10 mL** de la solution à analyser.
- Placer ensuite la cuvette dans la chambre de mesure et appuyer sur « **ZERO** ».
- Sortir la cuvette de la chambre de mesure.
- Ajouter le contenu d'un sachet de poudre de « **Chlorine FREE-DPD/F10** » directement dans la cuvette.
- Refermer la cuvette avec le couvercle et **mélanger** le contenu en agitant (20 secondes).
- Placer la cuvette dans la chambre de mesure.
- Appuyer sur la touche « **TEST** ».



## ANALYSE DU CHLORE LIBRE

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 11
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	11/12/2019 – V1

### 4) EXPRESSION DES RÉSULTATS

Le résultat de la mesure s'affiche et indique le **chlore libre en mg/L**.

### 5) REGLES D'HYGIENE

 <p style="font-size: small; color: red;">Autres EPI selon exigences client</p>		 <p style="font-size: small; color: red;">INTERDICTION DE BOIRE OU DE MANGER</p>
Attention aux transferts !		
		

## ANALYSE DU FER


Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 12
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	12/12/2019 – V1

### 1) PRINCIPE

La présence du fer dans l'eau est soit d'origine naturelle, soit due à la corrosion des canalisations de distribution en fonte ou en acier. Il est soluble à l'état d'ion ferreux ( $Fe^{2+}$ ) et insoluble à l'état d'ion ferrique ( $Fe^{3+}$ ).

Cette méthode permet la détermination de toutes les formes de fer dissous et la plupart des formes de fer non dissous.

### 2) MATÉRIEL et/ou REACTIFS

Réactif en poudre « **Vario Ferro F10** »   
 Appareil LOVIBOND MD 600 (méthode 222)  
 La gamme utilisée va de 0.02 à 3 mg/L Fe

Ref: PAFEISMARTOOI

### 3) MODE OPÉRATOIRE

#### METHODE 222 SUR LE LOVIBOND

- Remplir une cuvette (diamètre 24mm), parfaitement propre et sèche, avec **10 mL** de la solution à analyser.
- Placer ensuite la cuvette dans la chambre de mesure et appuyer sur « **ZERO** ».
- Sortir la cuvette de la chambre de mesure.
- Ajouter le contenu d'un sachet de poudre de « **Vario Ferro F10** » directement dans la cuvette.
- Refermer la cuvette avec le couvercle et **mélanger** le contenu en **agitant** : *La précision ne sera pas affectée par de la poudre non dissoute.*
- Placer la cuvette dans la chambre de mesure.
- Appuyer sur la touche « **TEST** ».
- Attendre **3 minutes de temps de réaction** : La mesure s'effectue automatiquement après écoulement de ce temps.



## ANALYSE DU FER

Généré par le service :	Service concerné :	Index document :
Laboratoire / F. MAURY	LABORATOIRE	IAC 12
Diffusion :	Contrôlé et approuvé par :	Date de révision et version :
Intranet	L. POUPARD	12/12/2019 – V1

### 4) EXPRESSION DES RÉSULTATS

Le résultat de la mesure s'affiche sur l'appareil et indique le **Fer en mg/L**.

### 5) REMARQUES

Les eaux fortement alcalines ou acides doivent être ramenées avant l'analyse à une valeur de pH comprise entre 3 et 5.

### 6) REGLES D'HYGIENE

 <p style="font-size: small; color: red;">Autres EPI selon exigences client</p>		 <p style="font-size: x-small; color: red;">INTERDICTION DE BOIRE OU DE MANGER</p>
Attention aux transferts !		
		

### Annexe III :

#### 1. Essai d'oxydation de fer Jar-test :

**Tableau III.01 :** Effet du permanganate de potassium au laboratoire (prélèvement : 09-05-2021).

Paramètre	L'eau brute	Les doses injectées de permanganate de potassium (mg/L)			
		2	3	4	5
Fer (mg/L)	0,09	<0,02	<0,02	<0,02	0,04

#### 2. Essai de coagulation-floculation Jar-test :

**Tableau III.02 :** Effet du coagulant (différentes doses) avec le floculant (0,4 mg/L) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de coagulant (mg/L)			
		15	20	25	30
pH	7,40	7,20	7,03	6,80	6,70
Turbidité (NTU)	5,35	0,61	0,68	0,80	1,55
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	117	119	114	113
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	160	158	164	160

#### 3. Essai de la décarbonatation par la chaux Jar-test :

- Sans filtration :

**Tableau III.03 :** Effet de la chaux sans filtration au laboratoire (jar-test) (prélèvement : 16-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)								
		120	240	300	320	340	360	370	380	480
pH	7,55	8,28	8,79	8,86	9,02	9,25	9,9	9,94	10,33	10,56
Turbidité (NTU)	6,66	24,8	33,4	34,4	39,7	71,1	74,1	150	153	201
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	115	139	143	140	113	95	124	132,5	119	187
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	142	156	176	228	156	124	144	130	110	122

- Avec filtration :

**Tableau III. 04 :** Effet de la chaux avec filtration au laboratoire (jar-test) (prélèvement : 16-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)								
		120	240	300	320	340	360	370	380	480
pH	7,55	8,45	8,82	8,85	8,88	9,48	9,66	10,04	10,08	10,75
Turbidité (NTU)	6,66	0,52	1,55	1	0,59	0,42	0,94	0,70	1,03	0,58
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	115	108	103	80	90	67	64	57	61	96
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	142	136	128	123.6	124	102	100	92	114	132

#### 4. Essai de coagulation-décarbonatation Jar-test :

**Tableau III.05:** Essai de coagulant (10 mg/L) et différentes doses de la chaux au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)									
		120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
pH	7,40	8,70	8,87	8,80	9,17	8,70	8,82	8,85	9,32	9,00	9,08
Turbidité (NTU)	5,53	1,98	1,64	2,01	2,36	0,80	1,69	2,42	1,50	1,15	1,03
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	111	106	103	85	88	82	82	57	76	79
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	126	128	120	112	124	112	104	108	100	110

**Tableau III.06 :** Essai de coagulant (15 mg/L) et différentes doses de la chaux au laboratoire (prélèvement : 16-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)									
		120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
pH	7,55	8,12	8,32	8,60	8,84	8,86	8,89	9,02	9,10	9,22	9,48
Turbidité (NTU)	6,66	1,49	2,67	0,88	0,48	0,32	0,48	0,99	0,69	0,41	0,28
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	115	85	81	98	80	89	94	77	78	51	52
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	142	140	132	124	120	84	124	104	96	100	84,4

**Tableau III. 07 :** Essai de coagulant (20 mg/L) et différentes doses de la chaux au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)									
		120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
pH	7,40	8,56	8,57	8,61	8,97	8,77	8,87	9,09	9,18	9,27	9,29
Turbidité (NTU)	5,53	0,95	1,06	1,05	1,24	1,24	1,26	1,52	1,13	1,62	1,65
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	113	110	107	96	104	99	94	83	70	68
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	118	126	126	116	126	120	124	120	102	96
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	37,27	45,44									

**Tableau III.08 :** Essai de coagulant (25 mg/L) et différentes doses de la chaux au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)									
		120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
pH	7,40	8,54	8,66	8,58	8,83	8,88	8,85	9,00	9,18	8,96	9,03
Turbidité (NTU)	5,53	2,50	1,20	4,80	1,98	5,87	1,86	1,92	2,08	0,67	2,42
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	118	110	120	103	82	89	79	72	71	68
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	136	116	166	144	122	124	120	106	118	116
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	37,27	47,57									

### 5. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation Jar-test :

**Tableau III.09 :** Essai de coagulant (15ppm mg/L), floculant (0,4 mg/L) et différentes doses de la chaux au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)							
		120	140	160	180	200	240	280	320
pH	7,40	8,37	8,44	8,57	8,71	8,64	8,69	8,80	9,20
Turbidité (NTU)	5,53	1,49	1,76	1,96	3,80	1,45	1,67	1,70	1,75
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	110	100	85	72	96	93	89	90
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	148	138	124	114	136	138	114	118
Cl (mg/L)	37,27	47,57							



**Tableau III.10 :** Essai de coagulant (25 mg/L), floculant (0,4 mg/L) et différentes doses de la chaux au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)							
		120	140	160	180	200	240	280	320
pH	7,40	8,30	8,39	8,53	8,60	8,63	8,86	9,04	9,40
Turbidité (NTU)	5,53	0,70	0,73	0,69	2,68	0,55	0,52	0,83	2,27
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	120	118	108	104	110	104	97	83
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	158	160	154	154	152	138	132	122
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	37,27	47,57							

**6. Essai de coagulation-floculation-décarbonatation-recirculation de boue Jar-test :**

**Tableau III.11 :** Essai de coagulant (15 mg/L), floculant (0,4 mg/L), hypochlorite (4 mg/L) et différentes doses de la chaux avec recirculation de la boue (10%) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)			
		120	140	200	280
pH	7,40	8,70	8,75	8,80	8,93
Turbidité (NTU)	5,53	2,54	1,03	1,15	1,02
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	88	82	83	77
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	132	108	130	118

**Tableau III.12 :** Essai de coagulant (15 mg/L), floculant (0,4 mg/L), hypochlorite (4 mg/L) et différentes doses de la chaux avec recirculation de la boue (20%) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)			
		120	160	200	280
pH	7,40	8,78	8,81	8,88	9,11
Turbidité (NTU)	5,53	0,93	1,01	1,04	0,95
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	77	79	74	73
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	114	114	114	106

**Tableau III.13 :** Essai de coagulant (15 mg/L), floculant (0,4 mg/L), hypochlorite (4 mg/L) et différentes doses de la chaux avec recirculation de la boue (30%) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)			
		120	160	200	28
pH	7,40	8,92	8,97	9,08	9,22
Turbidité (NTU)	5,53	1,08	0,81	0,72	1,38
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	61	61	54	56
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	120	116	100	102

**Tableau III.14 :** Essai de coagulant (15 mg/L), floculant (0,4 mg/L), hypochlorite (4 mg/L) et différentes doses de la chaux avec recirculation de la boue (40%) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)			
		120	160	200	280
pH	7,40	8,88	8,96	9,08	9,19
Turbidité (NTU)	5,53	0,57	0,83	0,77	1,39
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	56	55	48	50
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	128	104	96	100

## 7. Essai du processus de station de WTPg Jar-test :

**Tableau III.15 :** Essai de coagulant (15 mg/L), floculant (0,4 mg/L), hypochlorite (4 mg/L), différentes doses de la chaux avec recirculation de la boue (30%) et l'acide (10 mg/L) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

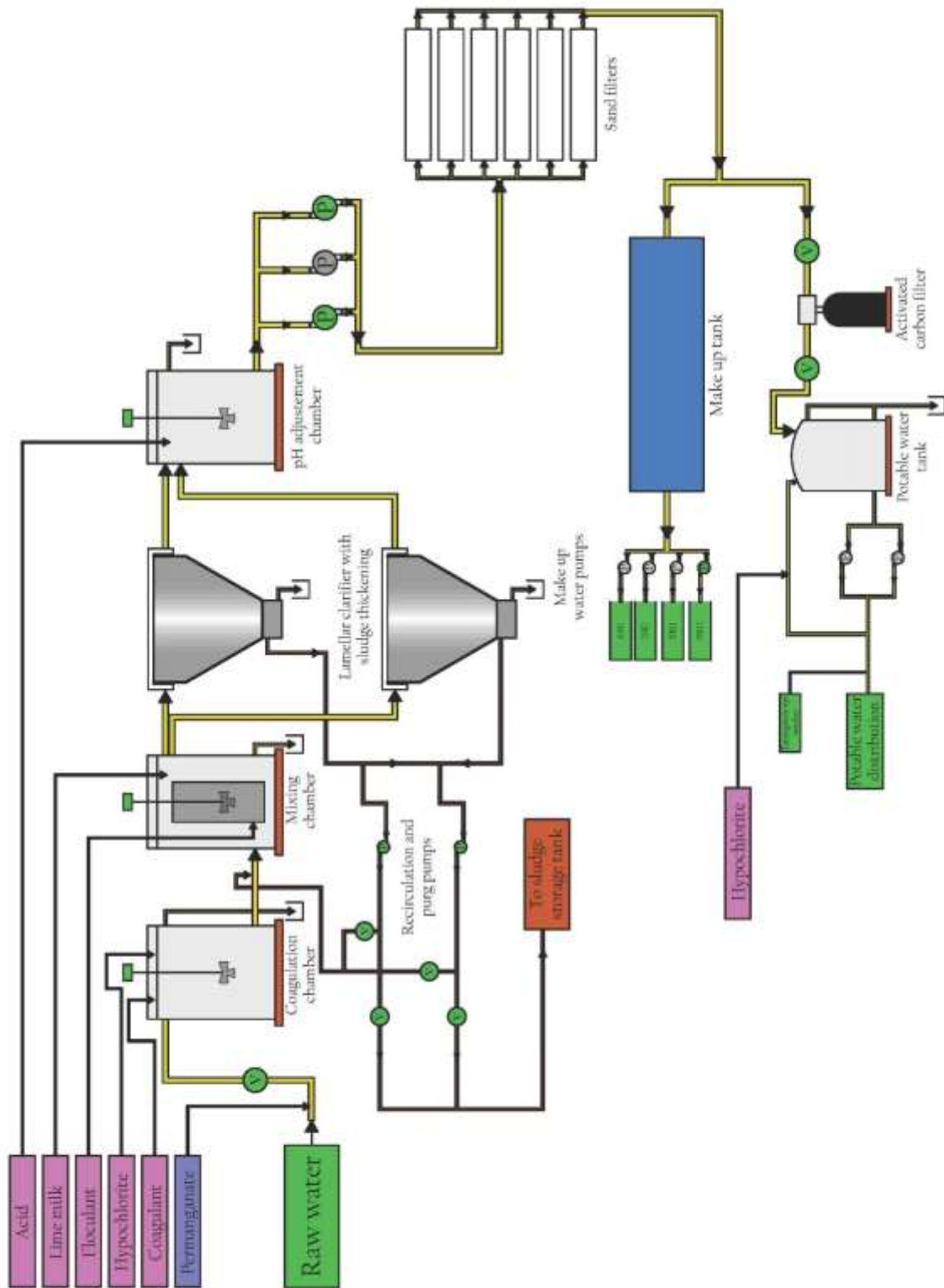
Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)			
		120	160	200	280
pH	7,40	8,05	8,06	8,11	8,12
Turbidité (NTU)	5,53	0,95	0,63	1,47	1,16
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	45	42	59	53
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	96	108	116	104

**Tableau III.16:** Essai de coagulant (15 mg/L), floculant (0,4 mg/L), hypochlorite (4 mg/L), différentes doses de la chaux avec recirculation de la boue (40%) et l'acide (50 mg/L) au laboratoire (prélèvement : 20-05-2021).

Paramètres	L'eau brute	Les doses injectées de la chaux (mg/L)						
		120	130	140	150	160	200	280
pH	7,40	7,89	8,20	8,29	8,23	7,96	8,10	8,32
Turbidité (NTU)	5,35	1,32	0,79	0,89	0,90	1,12	2,57	1,17
TAC (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	130	36	27	28	27	34	35	34
TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	144	94	84	78	78.8	86	98	96

**Annexe IV :**

*La ligne de procédés de production d'eau d'appoint et d'eau potable.*



## Résumé :

Notre étude porte d'un part, sur l'optimisation des dosages des réactifs : Oxydant, coagulant, floculant, hypochlorite, chaux, boue recirculée et acide influençant les traitements des eaux : oxydation, coagulation, floculation, décarbonatation et recirculation de boue destinés aux unités de production de l'acier de l'AQS (Algerian Qatar Steel).

Ce travail étudie l'influence de chaque réactif utilisé au niveau de la station de traitement WTPg sur les paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau du barrage qui alimenté le complexe.

Cette station alimente les différentes unités de production DRI, SMS, RM et ASU ; en conformité avec leurs exigences en matière de qualité et de quantité, ainsi que pour la production d'eau potable.

Après avoir caractérisé les échantillons bruts, des analyses ont été effectuées sur différents échantillons puis des essais de jar-test ont été enfin réalisés afin de déterminer les conditions optimales.

Les résultats montrent que les concentrations optimales 160 à 130 mg/L de chaux et 25 à 15 mg/L de coagulant.

---

## Abstract:

The aim of this work was the study of the optimization of the dosages of reagents: Oxidant, coagulant, flocculant, hypochlorite, limp, recirculated sludge and acid influencing water treatment: oxidation, coagulation, flocculation, decarbonation and recirculation of sludge intended for AQS (Algerian Qatar Steel) steel production units.

This work studied the influence of each reagent used at WTPg treatment station on the physicochemical and biological parameters of raw water that fed the complex.

This station supplies the various production units DRI, SMS, RM and ASU; in accordance with their requirements in terms of quality and quantity, as well as for production of drinking water.

After characterization of the raw water analyzes were carried out on various samples then jar-test trials were finally carried out in order to determine optimal conditions.

The results show that optimal concentrations were 160 à 130 mg/L for limp and 25 à 15 mg/L for coagulant.

---

## الملخص:

تتعلق دراستنا من ناحية، بتحسين جرعات الكواشف: المؤكسد، المخثر، المبلد، الكلوريد الصوديوم، الجير، الحمأة المرسلة والحمض... المؤثرين في عملية معالجة المياه: الأكسدة والتجميع والترسيب والترشيح والحمأة المرسلة المخصصة لوحدات إنتاج الصلب AQS (الجزائرية القطرية للصلب).

تدرس في هذا العمل تأثير كل كاشف مستخدم في محطة معالجة WTPg على العوامل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لمياه السد الذي يغذي المركب.

تزود هذه المحطة وحدات الإنتاج المختلفة DRI و SMS و RM و ASU؛ بما يتوافق مع متطلباتهم من حيث الجودة والكمية وكذلك من أجل إنتاج مياه الشرب.

بعد تمييز العينات الخام، تم إجراء التحليلات عينات مختلفة وتجارب jar-test من أجل تحديد الشروط المثالية.

أظهرت النتائج أن التركيزات المثالية 160 مغ/ل الى 130 مغ/ل من الجير و 25 مغ/ل الى 15 مغ/ل من المخثر.